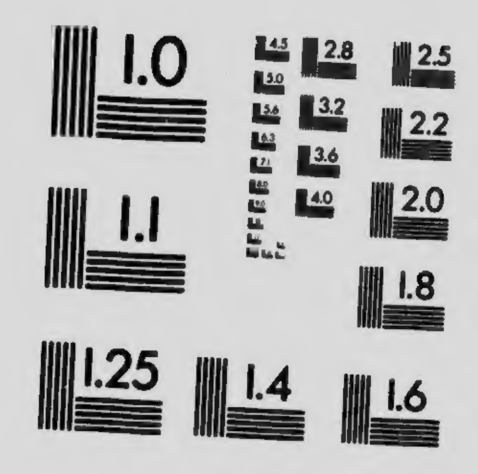
MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART

(ANSI and ISO TEST CHART No. 2)



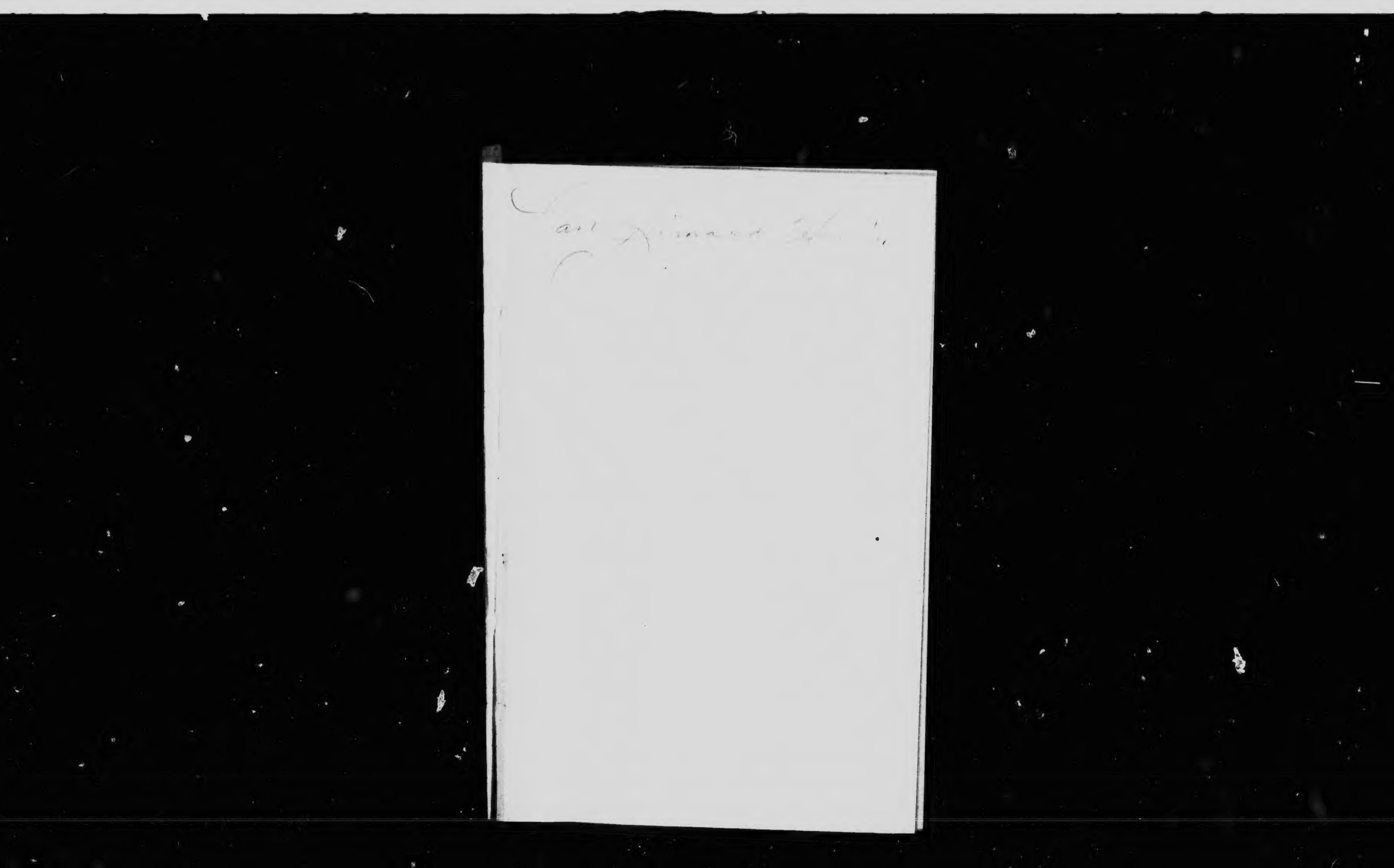


Abbé H. Simard

COURS ELEMENTAIRE

DE

COSMOGRAPHIE



COURS ÉLÉMENTAIRE

DE

COSMOGRAPHIE

DU MÊME AUTEUR

Traité élémentaire de Physique, 702 pages, in-8°, 381 gravures, 1907, 2e édition.

Manuel des Sciences usuelles, (en collaboration avec M. l'abbé V.-A. Huard), 394 pages, in-12°, 240 gravures, 1912, 3e édition.

COURS ÉLEMENTAIRE

DE

COSMOGRAPHIE

A l'usage des élèves de la Faculté des Arts
de l'Université Laval

PAR

L'abbé Henri Simard

DOCTEUR EN THÉOLOGIE, MAÎTRE ÈS ARTS,
PROFESSEUR À LA FACULTÉ DES ARTS DE L'UNIVEF É
LAVAL, (QUÉBEC)



QUÉBEC

IMPRIMERIE DE « L'ÉVÉNEMENT »
1913

Imprimatur,

Quebeci, die 15ª Novembris, 1912.

† L.-N., ARCH. QUEBECEN.

Permis d'imprimer,

A.-E. GOSSELIN, p^tre
S. S. Q.

AVANT-PROPOS

La publication de ce *Cours élémentaire de Cosmographie*, destiné aux élèves de la Faculté des Arts de l'Université Laval et des collèges classiques de la province de Québec, n'a pas pour but de combler une lacune ; il existe d'excellents et nombreux manuels de Cosmographie, particulièrement en France, et nous n'avons pas eu la prétention ni de les corriger ni de les compléter.

Les raisons qui nous ont engagé à entreprendre cet humble travail sont de toute autre nature, et nous croyons devoir les exposer ici brièvement.

Messieurs les professeurs de nos collèges classiques, et tous ceux qui s'occupent de l'enseignement secondaire dans notre province, connaissent la position particulière dans laquelle se trouvent nos élèves, relativement à l'examen du baccalauréat. Les matières que ceux-ci doivent apprendre sont de deux sortes : les matières principales, dites *universitaires*, et les matières moins importantes ou secondaires, dites *collégiales*.

La majeure partie du temps des élèves est consacrée à l'étude et à la préparation des premières, c'est-à-dire, pour le second examen, de la Philosophie, des Mathématiques et de la Physique, et il en reste peu pour l'étude des autres, en particulier de la Cosmographie.

Comme l'enseignement des matières collégiales est laissé, dans chaque maison d'éducation, à la discrétion des autorités compétentes, les professeurs de Cosmographie, pour bien employer le temps nécessairement restreint qui leur est alloué et pour ne pas dépasser les limites imposées par l'importance *relativement* secondaire de cette science, se trouvent dans l'obligation d'adopter eux-mêmes un programme spécial, et de faire un choix judicieux parmi les questions sur lesquelles ils doivent insister davantage, afin d'être, autant que possible, à la fois brefs et assez complets.

C'est ce que nous nous sommes efforcé de réaliser pendant les dix-huit années de notre professorat à la Faculté des Arts de Québec.

Sans vouloir imposer à personne notre manière de voir, nous demandons la permission de la proposer, en toute franchise, à nos collègues dans l'enseignement de la Cosmographie et aux élèves de nos collèges. Le petit volume que nous publions aujourd'hui n'a pas d'autre but, ni d'autre objet. Ce but particulier explique aussi la disposition de la matière que nous avons adoptée, le choix des questions sur lesquelles il convient, à notre avis, de s'étendre davantage ou que l'on peut supprimer en tout ou en partie, et le développement plus ou moins restreint que nous leur avons donné.

Mais un manuel ne doit pas contenir seulement ce qui est strictement nécessaire à la préparation d'un examen ; il faut qu'il soit aussi, dans une certaine mesure, un livre de consultation. C'est pour cette raison que nous avons ajouté au texte des tableaux dans lesquels les élèves pourront trouver plusieurs

renseignements utiles sur la plupart des données astronomiques : c'est pour cela aussi que nous avons signalé les phénomènes qui intéressent notre pays, en particulier la province de Québec.

Nous avons l'espoir que ce *Cours élémentaire de Cosmographie*, tout en facilitant la préparation de l'examen du baccalauréat, contribuera quelque peu à rendre plus attrayante la science des astres, et à en faire apprécier toute l'importance. Nous avons cru faire œuvre utile : nous aurons atteint notre but si nos prévisions se réalisent.

H. S.

COURS ÉLÉMENTAIRE

DE

COSMOGRAPHIE

INTRODUCTION

1. Définition et objet de la Cosmographie.— On désigne sous le nom de *Cosmographie* (κόσμος, γράφειν, décrire le monde) la partie élémentaire de la science des astres.

L'*Astronomie* (αστρον, astre, νομος, loi) étudie les lois des mouvements célestes, les approfondit par des calculs difficiles et compliqués, s'occupe de la recherche d'astres nouveaux et de la détermination de leurs éléments, en un mot, aborde tous les problèmes relatifs à la connaissance de l'Univers.

Le cadre de la Cosmographie est plus restreint et plus modeste ; cette science se borne à décrire les phénomènes astronomiques, à étudier la constitution physique des astres et les rapports qu'ils ont avec la Terre, et à déterminer les lois des mouvements célestes, sans sortir du calcul élémentaire. La Terre que nous habitons, par la position qu'elle occupe et par tout son ensemble, est un astre, au même titre que les autres.

2. Coup d'œil sur l'Univers.—Malgré ces restrictions, le champ de la Cosmographie n'en est pas moins très étendu et très vaste. Un premier regard dirigé vers la voûte des cieux nous fait voir une multi-

tude de points brillants, appelés *astres*, qui peuplent l'immensité de l'espace et forment l'*Univers*. Ces astres obéissent à d'admirables lois établies avec infiniment de sagesse par Dieu, chantent, dans un sublime cantique, la gloire de leur auteur, et constituent pour l'homme un programme d'étude aussi attrayant qu'utile, dans lequel éclate à chaque pas la merveilleuse ordonnance de la Création.

Pendant le jour, le Soleil répand sur la Terre des flots de lumière et de chaleur, et, après qu'il a disparu sous l'horizon, l'astre des nuits, la Lune, tempère d'une douce lumière l'horreur des ténèbres. D'innombrables points brillants s'allument sur la voûte céleste : ce sont les *étoiles*, dont le mouvement d'ensemble s'exécute avec une parfaite régularité, et qui semblent entraînées par la rotation d'une sphère immense sur laquelle elles paraissent fixées.

Les étoiles, dont les distances et les positions relatives ne varient pas, brillent d'une lumière propre comme le Soleil, et se distinguent des *planètes*, lesquelles se déplacent parmi les étoiles et ne nous envoient que de la lumière empruntée à l'astre du jour.

Des astres chevelus, appelés *comètes*, apparaissent de temps en temps dans le ciel, laissant derrière eux une longue traînée lumineuse. et traçant autour du Soleil des orbites parfois très excentriques. —Ajoutons à ces météores, les *bolides* et les *étoiles filantes* qui sillonnent le ciel en tous sens et illuminent pendant un certain temps l'atmosphère terrestre.

Enfin, l'œil découvre, dans les profondeurs du ciel, les *nébuleuses*, ces nuages blanchâtres que le télescope résout souvent en étoiles très nombreuses pressées les unes contre les autres. La plus importante pour nous est la *Voie lactée* qui entoure le firmament comme d'une ceinture lumineuse. On connaît aujourd'hui environ 6,000 nébuleuses, et les étoiles qu'elles contiennent sont innombrables.

3. Utilité de la Cosmographie.—Comme on le voit par ce rapide aperçu des astres qui constituent l'Univers, le champ d'investigation de la Cosmographie est fort varié, et cette science, outre l'intérêt qu'elle offre par elle-même, puisqu'elle nous fait connaître les merveilles de la Création, présente aussi une utilité pratique incontestable.

On y trouve, en effet, l'explication d'un grand nombre de phénomènes intimement liés aux conditions de la vie de l'homme. C'est ainsi qu'il est intéressant et utile de connaître la cause de la succession des jours et des nuits et les variations de leurs durées relatives aux différentes époques de l'année, la cause des changements de température dans les saisons, comment le double mouvement de la Terre est employé à la mesure du temps, la nécessité des mesures astronomiques pour la navigation océanique, et le reste.

Sans plus insister sur ce sujet, il est évident pour tous que, tout en satisfaisant notre légitime curiosité, la Cosmographie est appelée à fournir la solution de nombreuses questions éminemment pratiques, et, à ce titre, elle doit occuper une place importante parmi les sciences naturelles.

4. Division de la Cosmographie.—Avant d'entrer dans l'étude détaillée des principaux astres, de ceux du moins qu'il est plus important pour nous de connaître, il est nécessaire de donner certaines définitions indispensables, et de décrire les méthodes employées par les astronomes pour fixer la position des astres sur la voûte étoilée et préciser les lois de leur mouvement. C'est pourquoi nous commencerons par la description de la *sphère céleste*, puis nous passerons successivement en revue, la *Terre*, le *Soleil*, la *Lune*, les *planètes*, les *comètes*, les *météores cosmiques*, et les *étoiles* avec les *nébuleuses*.

LIVRE PREMIER

La Sphère céleste

CHAPITRE I

LE MOUVEMENT DIURNE

5. **Aspect général du ciel.**—Le firmament sur lequel se détachent, le Soleil, pendant le jour, et les étoiles, pendant la nuit, nous apparaît comme une voûte immense qui repose sur l'horizon. Lorsque la vue peut s'étendre au loin, comme dans une vaste plaine, ou mieux en plein océan, l'horizon, ou la ligne qui sépare la terre du ciel, prend la forme d'une circonférence de cercle dont l'observateur occupe le centre.

La voûte des cieux nous paraît plutôt surbaissée, c'est-à-dire plus profonde près de l'horizon qu'au-dessus de nos têtes. Cette apparence n'est qu'une illusion due à l'interposition de l'atmosphère. C'est aussi à l'atmosphère et aux innombrables particules et poussières en suspension dans l'air que la voûte du ciel doit sa coloration ; cette teinte d'un bleu d'azur, brillante et claire pendant le jour, devient plus sombre pendant la nuit, ainsi que sur les hautes montagnes. Aux limites de l'atmosphère et des poussières impalpables, le ciel paraîtrait complètement noir.

6. **Lever et coucher des astres.**—A raison de la sphéricité de la Terre, l'horizon et l'aspect du ciel changent avec le déplacement de l'observateur à la surface du globe. Mais, si l'on examine avec attention ce qui se passe au-dessus de nos têtes, on constate un

phénomène général, en tous lieux et sous tous les horizons : c'est le lever et le coucher des astres et leur mouvement commun sur la voûte du ciel.

Comme tout le monde peut en être témoin, on voit, le matin, le Soleil se lever en un point de l'horizon qu'on appelle l'*est* ou l'*orient*, monter de plus en plus dans le ciel, et se coucher à l'*ouest* ou *occident*, après avoir décrit une courbe plus ou moins grande, suivant l'époque de l'année. Lorsque la lumière du Soleil s'est effacée et que les ténèbres ont envahi l'espace, le ciel nous apparaît parsemé d'étoiles, et l'on s'aperçoit que ces étoiles ne sont pas fixes ; elles se meuvent dans le même sens que le Soleil, se lèvent à l'orient, tracent sur la voûte céleste des courbes régulières, et se couchent à l'occident.—Le lendemain, le Soleil apparaît encore à l'orient pour parcourir à peu près la même route que la veille, et, le soir, le même mouvement des étoiles, aux mêmes points de l'horizon, se produit de nouveau.

On remarque, de plus, que les étoiles gardent leurs positions relatives, c'est-à-dire que leurs distances angulaires ne changent pas. Tout se passe donc comme si les étoiles, fixées sur l'envers d'une immense sphère transparente, étaient entraînées par celle-ci, d'un mouvement uniforme, autour d'un axe passant par la Terre. Ce mouvement d'ensemble de la voûte étoilée s'appelle *mouvement diurne* (du latin, *dies*, jour).

7. Inégalités des courbes décrites par les étoiles.—CIRCOMPOLAIRES.—Les courbes décrites par les étoiles diffèrent beaucoup les unes des autres par leur grandeur et leur position. Il y a des étoiles qui s'élèvent très peu au-dessus de l'horizon et dont les courbes sont très petites. D'autres, au contraire, restent visibles pendant une grande partie de la nuit, ou même s'élèvent jusqu'au zénith, pour parcourir toute l'étendue du ciel.

Si l'on se place de manière à avoir l'orient à droite et l'occident à gauche, on constate qu'il y a, en face de soi, plusieurs étoiles qui ne se couchent pas, mais qui restent visibles toute la nuit, en décrivant des cercles plus ou moins grands autour d'un point central fixe : on les appelle des *circompolaires*, et le point central dont nous venons de parler est occupé sensiblement par une étoile brillante appelée *étoile polaire*. Le mouvement diurne de la voûte étoilée paraît s'effectuer autour d'un axe qui aboutit, d'une part, à la Polaire et, d'autre part, en un point du ciel diamétralement opposé (fig. 1).

8. **Mouvement diurne de tous les astres.**— Ce que nous avons dit précédemment du lever et du coucher des étoiles et du sens de leur mouvement sur la voûte du ciel, s'applique également à tous les autres astres. Quelques-uns parmi eux, tout en participant au mouvement d'ensemble qui entraîne tout le ciel, se déplacent parmi les étoiles et décrivent des courbes dont les positions ne sont pas toujours les mêmes. On les appelle des *astres errants* ou des *planètes*. Le *Soleil*, la *Lune* et les *comètes* présentent les mêmes particularités, que l'on explique par les *mouvements propres* dont ces astres sont animés et que nous étudierons plus loin.

Ajoutons que, grâce au mouvement de translation annuelle de la Terre autour du Soleil, l'aspect du ciel étoilé n'est pas le même durant le cours d'une année. Bien que les étoiles se lèvent et se couchent toujours aux mêmes points de l'horizon, l'instant de leur apparition n'a pas lieu aux mêmes heures, et celles qui se lèvent au moment du coucher du Soleil pour briller toute la nuit, seront, six mois plus tard, au-dessus de l'horizon pendant le jour, et, par suite, invisibles, du moins à l'œil nu, à cause de la lumière trop intense du Soleil.—Quelques étoiles, celles qui s'élèvent très peu

au-dessus de l'horizon, sont aperçues pendant une partie de la nuit, en tout temps de l'année, et les *circompolaires* sont toujours visibles, quelles que soient l'époque de l'année et l'heure de la nuit.

9. **Sphère céleste.**—A première vue, les astres nous paraissent tous à égale distance de nous et fixés sur la même voûte céleste. Bien que nous sachions que les distances des astres à la Terre sont fort inégales, il est utile, pour l'étude des phénomènes et les calculs des positions, d'imaginer une sphère immense, de rayon arbitraire et presque infini, à la surface de laquelle tous les astres seraient fixés. C'est cette sphère idéale que l'on appelle la *sphère céleste* (fig. 1), et dont le centre coïncide avec le centre de la Terre ou l'œil de l'observateur.

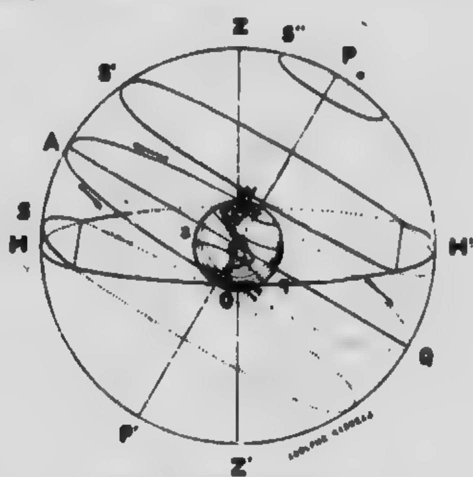


Fig. 1.—Sphère céleste.

10. **Axe du monde, pôles.**—*L'axe du monde* est la droite autour de laquelle semble s'effectuer le mouvement diurne de la sphère céleste. Il aboutit en deux points diamétralement opposés qu'on appelle *pôles*. L'un P, le *pôle nord, boréal* ou *arctique* est visible pour nous, l'autre P', le *pôle sud, austral* ou *antarctique* est au-dessous de notre horizon. (fig. 1.)

11. **Equateur.** — L'*équateur céleste* est le grand cercle de la sphère céleste déterminé par un plan mené perpendiculairement à l'axe du monde et passant par le centre de la sphère, soit A Q ; il la divise en deux moitiés appelées *hémisphères*, l'hémisphère *nord*, *boréal* ou *arctique*, et l'hémisphère *sud*, *austral* ou *antarctique*.

12. **Parallèles célestes et cercles horaires.** — Les *cercles parallèles* ou tout simplement *parallèles célestes* sont des cercles tels que S, S', S" (fig. 1), déterminés par des plans menés perpendiculairement à l'axe du monde et parallèlement à l'équateur ; ce sont les cercles décrits par les étoiles dans leur mouvement diurne.

On appelle *cercle horaire* ou *méridien céleste* tout cercle passant par les pôles de la sphère céleste (fig. 2) ; ce sont tous de grands cercles, tandis que les parallèles sont d'autant plus petits qu'ils sont plus rapprochés des pôles.

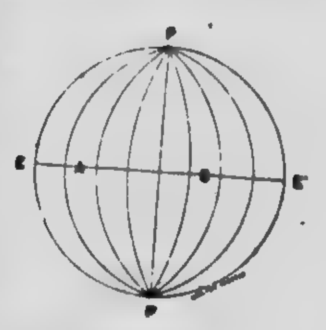


Fig. 2.—Cercles horaires.

13. – **Verticale, zénith, nadir.** — La *verticale* d'un lieu est la direction du fil à plomb ou de la pesanteur en ce lieu ; prolongée de bas en haut ou de haut en bas, elle perce la sphère céleste en deux points opposés Z et N (fig. 3), appelés, le premier *zénith* et l'autre *nadir*.

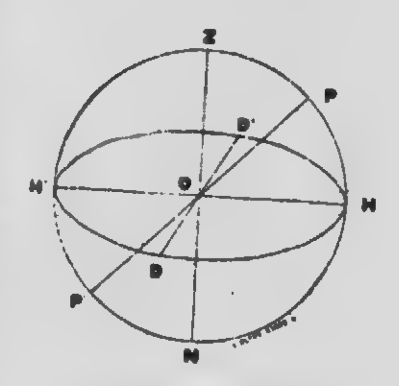


Fig. 3.—Zénith, nadir.

14. Horizon.—C'est, en général, tout plan perpendiculaire à la verticale. Pour plus de précision, il importe de distinguer :

1° L'*horizon visuel*, ou tout plan horizontal passant par l'œil de l'observateur ;

2° L'*horizon rationnel* ou *géocentrique*, c'est-à-dire le plan HH' (fig. 3) perpendiculaire à la verticale du lieu et passant par le centre de la Terre. Dans l'étude des étoiles, à cause de l'immensité de la sphère céleste par rapport aux dimensions de notre globe, on peut confondre l'horizon rationnel avec l'horizon visuel.

Ces horizons se distinguent de l'horizon *physique* ou *sensible* qui borne la vue de l'observateur, et constitue la ligne qui semble séparer dans tous les sens le ciel de la terre.

15. Lois du mouvement diurne.—L'observation attentive du mouvement des étoiles sur la sphère céleste nous montre qu'elles décrivent, d'un mouvement uniforme, des cercles parallèles à l'équateur et perpendiculaires à l'axe du monde. Quelles que soient leurs positions, elles prennent toutes le même temps à accomplir leur révolution complète. On peut résumer les lois du mouvement diurne en disant qu'il est : 1° *circulaire ;* 2° *uniforme*, c'est-à-dire que des arcs égaux sont décrits par les étoiles dans des temps égaux ; 3° *isochrone*, c'est-à-dire que les révolutions stellaires s'accomplissent toutes dans le même temps ; 4° *parallèle*, c'est-à-dire que les étoiles se meuvent dans des plans parallèles entre eux.

16. Sens du mouvement diurne.—Le sens du mouvement des corps célestes se définit de la manière suivante : un observateur, couché le long de l'axe du monde, la tête tournée vers le pôle nord céleste, voit les étoiles et la sphère céleste tourner de gauche à droite, dans le sens des aiguilles d'une montre. Ce mouvement d'orient en occident, qui est celui de la

sphère étoilée, s'appelle mouvement *rétrograde*, et le mouvement qui se fait en sens contraire est nommé mouvement *direct :* c'est le sens du mouvement propre du Soleil et des planètes, ainsi que celui du mouvement de rotation de la Terre sur elle-même.

17. **Equatorial.**—On vérifie les lois du mouvement diurne au moyen de l'*équatorial.* Cet appareil permet de suivre constamment une étoile dans son mouvement sur le parallèle céleste qu'elle décrit. Pour

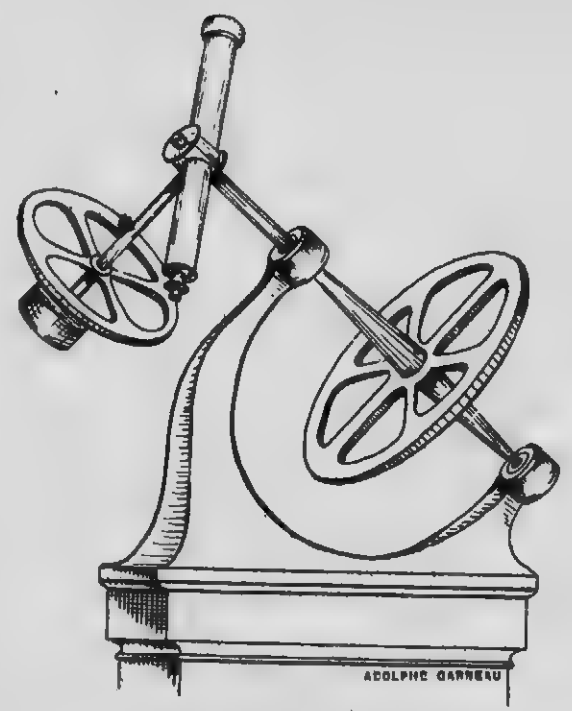


Fig. 4.—Equatorial.

cela, l'instrument est installé de telle façon (fig. 4) que son axe soit dirigé suivant l'axe du monde ; le cercle inférieur, perpendiculaire à l'axe, est alors parallèle à l'équateur, et la lunette, mobile dans un plan normal au premier, peut tourner aussi dans les plans des parallèles célestes. Si alors on vise une étoile quelconque avec

la lunette, et si l'on fait tourner l'instrument d'un mouvement uniforme par un mécanisme d'horlogerie réglé sur la vitesse du mouvement diurne, on constate que l'étoile reste constamment dans le champ de la lunette, ce qui démontre que le mouvement diurne est circulaire et uniforme.

18. **Plan vertical, plan méridien.**—On appelle *plan vertical*, ou simplement *vertical*, tout plan passant par la verticale du lieu ; il est toujours normal à la surface des eaux tranquilles. Le plan vertical PHN (fig. 3) qui passe par l'axe du monde et les pôles célestes est le *plan méridien* ou le *méridien* du lieu, et l'intersection de ce plan avec le plan de l'horizon, la ligne H'OH (fig. 3), ou, si l'on veut, la trace du méridien sur l'horizon, s'appelle la *méridienne*.

19. **Points cardinaux, rose des vents, orientation.**—La méridienne, du côté de l'étoile polaire, rencontre la sphère céleste en un point H qu'on appelle *nord* ou *septentrion* ; le point de la sphère diamétralement opposé, H', est le *sud* ou *midi*. L'*est* ou *orient*, l'*ouest* ou *occident* sont les deux points D et D' (fig. 3) de la sphère où aboutissent les deux extrémités opposées d'une perpendiculaire à la méridienne, menée dans le plan de l'horizon.

Le nord, le sud, l'est et l'ouest constituent les quatre *points cardinaux*, et le partage de la circonférence de l'horizon en 32 parties égales, appelées *rumbs*, forme la *rose des vents* dont les représentations accompagnent toujours les boussoles marines (fig. 5).

Fig. 5.—Rose des vents.

La connaissance de la position des points cardinaux permet de *s'orienter*.

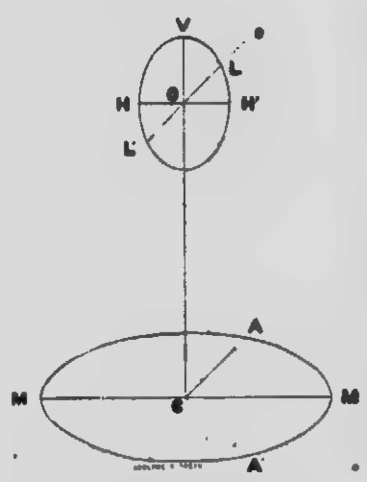
Pendant le jour, on s'oriente sur le Soleil. Si l'on se tourne vers le point de l'horizon où se lève l'astre radieux, on a l'*est* en face de soi, l'*ouest* en arrière, le *sud* à droite, et le *nord* à gauche. La nuit, on se tourne vers l'étoile polaire : le *nord* est alors devant soi, le *sud* en arrière, l'*est* à droite, et l'*ouest* à gauche.

20. **Propriétés du méridien.**— 1° Le plan méridien, parce qu'il passe par la verticale du lieu et par la ligne des pôles, est par suite, perpendiculaire à l'horizon, à l'équateur et à tous les parallèles.

2° Il partage donc la voûte céleste et les courbes tracées par les étoiles en deux parties égales, ainsi que les arcs décrits par les étoiles au-dessus et au-dessous de l'horizon. Une étoile passe donc au méridien au milieu de la course qu'elle parcourt entre son lever et son coucher, et elle atteint, au méridien, sa *culmination*, c'est-à-dire le point le plus haut au-dessus de l'horizon (fig. 1). Il est évident aussi qu'une étoile passe deux fois au méridien dans l'intervalle d'une rotation complète de la sphère céleste ; le *passage supérieur* s'effectue au point le plus élevé, et le *passage inférieur* au point le plus bas et au-dessous de l'horizon pour les étoiles qui ne sont pas circompolaires.

21. **Détermination du méridien.**—Cette détermination peut se faire au moyen du théodolite, en appliquant la méthode des *hauteurs correspondantes.*

Le *théodolite* (fig. 6) se compose essentiellement d'un cercle horizontal fixe, MM, appelé *cercle azimutal*, au centre duquel est disposé un axe vertical pouvant tourner sur lui-même en entraînant dans son mouvement une alidade CA devant la graduation du cercle. L'axe de l'instrument porte un cercle vertical HH' muni d'une lunette LL' mobile dans son plan. Le mouvement de la lunette dans ce plan permet de mesurer les angles verticaux, tandis que sa rotation autour de l'axe de l'appareil, par le déplace-


Fig. 6.—Figure théorique du théodolite.

ment de l'alidade sur le limbe gradué du cercle azimutal, mesurera les angles horizontaux.

La méthode des *hauteurs correspondantes* consiste à viser, avec la lunette du théodolite; une étoile quelconque à une certaine hauteur au-dessus de l'horizon. On fixe la lunette sur son limbe vertical, et on note la position A de l'alidade sur le cercle azimutal. On tourne ensuite la lunette autour de l'axe vertical de l'instrument, jusqu'à ce que l'étoile, après s'être élevée et avoir franchi le méridien au milieu de sa course, vienne de nouveau passer dans l'axe de la lunette, par conséquent à une hauteur au-dessus de l'horizon égale à celle de sa première position. Ce sont ces hauteurs égales à droite et à gauche du méridien que l'on nomme *hauteurs correspondantes.* L'alidade mobile du cercle horizontal indiquera, dès lors, en A', la deuxième position de l'étoile, et l'angle ACA' sera la mesure du déplacement angulaire de la lunette.

Comme le plan méridien, nous l'avons vu plus haut, partage en *deux parties égales* la course des étoiles au-dessus de l'horizon, il est évident que la bissectrice de l'angle ACA', la ligne CM', sera la méridienne, et le plan vertical passant par cette ligne sera le méridien cherché.

REMARQUE.—On peut trouver aussi la méridienne d'une manière analogue par la méthode des *ombres égales* portées par un *gnomon* ou tige dressée verticalement sur un plan horizontal. Cette méthode, fondée

sur le mouvement du Soleil, n'est exacte que si l'opération se fait le jour du solstice, parce que le Soleil ordinairement ne décrit pas un cercle parallèle à ceux des étoiles.

22. **Jour sidéral.**—On appelle *jour sidéral*, l'intervalle de temps qui s'écoule entre deux passages supérieurs consécutifs d'une étoile au même méridien. En d'autres termes, c'est la durée de la révolution complète de chaque étoile sur son parallèle, et, par suite, la durée de la révolution complète de la sphère céleste autour de l'axe du monde. La durée du jour sidéral, absolument invariable, est d'environ 4 minutes plus courte que celle du jour solaire, et c'est à cause de ce retard quotidien du Soleil sur les étoiles que le jour sidéral peut commencer à toutes les heures de la journée, et qu'il nous est possible de voir successivement pendant les différentes nuits de l'année toutes les constellations ; autrement, celles qui sont au-dessus de l'horizon pendant le jour ne seraient jamais visibles.

Le jour sidéral est divisé en 24 heures sidérales, l'heure en 60 minutes et la minute en 60 secondes. On appelle *temps sidéral* le temps évalué au moyen du jour sidéral que les astronomes ont choisi, à cause de sa durée invariable, comme unité de temps.

23. **Différentes apparences de la voûte céleste.**—L'aspect de la voûte étoilée change avec la position de l'observateur à la surface de la Terre ; suivant la latitude du lieu où l'on se trouve, l'axe du monde est diversement incliné sur l'horizon du lieu, et cette inclinaison variable donne lieu à trois apparences principales que l'on appelle la *sphère droite*, la *sphère oblique* et la *sphère parallèle.*

1° *La sphère droite.*—Si l'observateur est situé à l'équateur terrestre, l'axe du monde est alors dans le plan de l'horizon, celui-ci est perpendiculaire à l'équa-

teur et aux parallèles décrits par les étoiles, et il les divise en deux parties égales (fig. 7). Dans ces conditions, toutes les étoiles sont visibles, il n'y a plus de circompolaires, et les durées de leurs courses au-dessus et au-dessous de l'horizon sont égales.

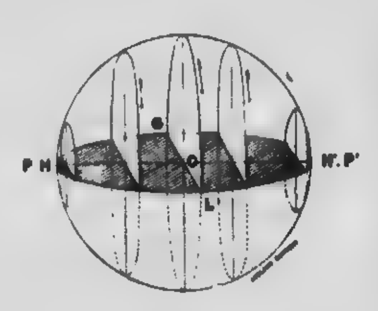


Fig. 7.—Sphère droite.

2° *La sphère oblique.*—Si l'axe du monde fait avec l'horizon un angle qui n'est ni droit, ni nul, comme pour tout lieu d'observation placé entre l'équateur et les pôles, tous les parallèles sont alors plus ou moins inclinés sur l'horizon du lieu (fig. 8). Dans ce cas, les étoiles situées près du pôle boréal restent au-dessus de l'horizon pendant toute la durée du mouvement diurne, pour l'hémisphère nord de la Terre : ce sont les circompolaires ou étoiles de *perpétuelle apparition ;* celles qui sont près du pôle austral sont toujours au-dessous de l'horizon et sont de *perpétuelle occultation.* — Entre ces deux positions extrêmes, un grand nombre d'étoiles ont un lever et un coucher ; celles qui sont dans le plan de l'équateur restent aussi longtemps au-dessus qu'au-dessous de l'horizon, l'arc diurne égale l'arc nocturne, en appelant ainsi les courbes tracées au-dessus et au-dessous de ce plan.—Pour les étoiles assez rapprochées de l'équateur, l'arc diurne est plus grand que l'arc nocturne, tandis que c'est le contraire pour celles qui sont à égale distance de l'équateur, dans l'hémisphère austral.

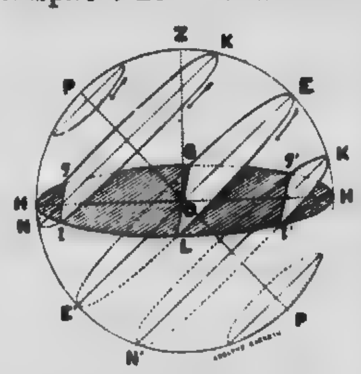


Fig. 8.—Sphère oblique.

3° *La sphère parallèle.*—Si l'observateur est à l'un des pôles de la Terre, par exemple au pôle nord, l'axe du monde fait un angle droit avec l'horizon et il se confond avec la verticale du lieu, tandis que l'horizon coïncide avec le plan de l'équateur (fig. 9). Dès lors, toutes les étoiles de l'hémisphère nord sont de perpétuelle apparition et celles de l'hémisphère sud de perpétuelle occultation ; on ne peut voir que les étoiles de l'hémisphère où l'on se trouve.

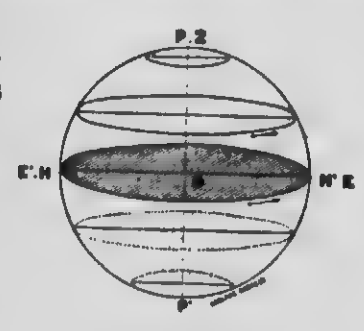


Fig. 9.—Sphère parallèle.

CHAPITRE II

COORDONNÉES CÉLESTES

24. **Coordonnées célestes.**—On appelle *coordonnées célestes* d'un point deux angles qui servent à fixer la position de ce point sur la voûte céleste. La position d'un astre peut être rapportée à l'*horizon*, à l'*équateur* ou à l'*écliptique* : de là trois systèmes de coordonnées dont nous ferons connaître immédiatement les deux premiers.

25. **Azimut et hauteur.**—Si l'on veut déterminer la position d'un astre par rapport à l'horizon du lieu, on emploie deux angles appelés l'*azimut* et la *hauteur*.

L'*azimut* d'une étoile est l'angle que fait le vertical de cette étoile avec le plan méridien ; il se mesure par l'arc intercepté sur l'horizon et varie de 0° à 360°, soit l'arc aA (fig. 10).

La *hauteur* d'un astre est sa distance angulaire à

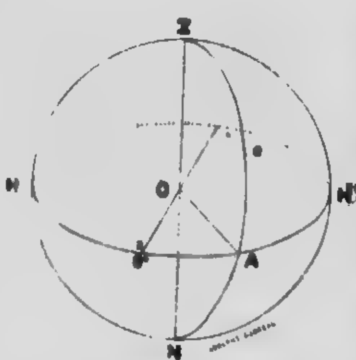


Fig. 10.—Azimut et hauteur.

l'horizon, l'arc Ae ; son complément, ou la distance de l'astre au zénith, s'appelle la *distance zénithale*, soit l'arc eZ (fig. 10).

L'azimut et la hauteur se mesurent au moyen du théodolite.

Ces deux coordonnées ne sont guère employées, parce que l'horizon et le plan méridien changent avec le lieu d'observation ; elles ne donnent donc la position d'une étoile que pour un même endroit et pour l'instant même de l'observation.

26. **Ascension droite et déclinaison.**—L'*ascension droite* et la *déclinaison* sont des coordonnées par lesquelles on rapporte la position d'un astre au plan de l'équateur.

L'*ascension droite* d'une étoile est l'angle que fait le cercle horaire ou cercle de déclinaison de l'étoile avec le cercle horaire qui passe par un point fixe de l'équateur, appelé *point vernal* ou *équinoxe du printemps*. L'angle de ces deux cercles est mesuré par l'arc qu'ils interceptent sur l'équateur, c'est-à-dire l'arc O°A (fig. 11), et l'on compte de 0°, à partir du point vernal, jusqu'à 360°, *dans le sens direct*, c'est-à-dire d'occident en orient, en sens contraire du mouvement diurne.

Fig 11 —Ascension droite et déclinaison.

Le point vernal, origine des *ascensions droites*, est

le point de l'équateur franchi par le Soleil au moment de l'équinoxe du printemps.

La *déclinaison* est la distance angulaire d'un astre à l'équateur (fig. 11), ou l'arc Ae ; c'est le complément de la distance polaire de l'astre.

La déclinaison se compte sur le cercle horaire ou *cercle de déclinaison* de l'astre, de 0° à 90°, de l'équateur au pôle, positivement dans l'hémisphère boréal et négativement dans l'hémisphère austral.

On voit que l'ascension droite et la déclinaison déterminent parfaitement la position d'une étoile sur la voûte céleste ; par la première, on connaît la position du cercle horaire de l'astre observé, et, par la seconde, celle de l'astre sur le cercle lui-même.

27. **Mesure de l'ascension droite.**—L'ascension droite n'est rien autre chose que l'heure sidérale du passage d'une étoile au méridien. En effet, en vertu du mouvement diurne, tous les cercles horaires passent les uns à la suite des autres par le méridien du lieu d'observation, et comme la sphère céleste accomplit sa révolution complète, ou 360°, en 24 heures, la vitesse angulaire du mouvement diurne est de 15° par heure. Si donc on note, à l'aide d'une horloge sidérale, l'intervalle de temps qui s'écoule entre le passage du point vernal et celui de l'étoile observée, ce temps, multiplié par 15, donnera l'ascension droite en degrés, minutes et secondes.—On se dispense ordinairement de faire cette multiplication, et l'ascension droite s'exprime en temps aussi bien qu'en degrés. Ainsi, on dira indifféremment 37° 8' 45" ou 2h. 38m. 35s.

28. **Lunette méridienne.**—La mesure de l'ascension droite d'une étoile exige, d'une part, une horloge sidérale très précise, qui doit marquer 0h. 0m. 0s. à l'instant du passage du point vernal au méridien ; il faut, d'autre part, que l'on puisse déterminer l'heure du passage de l'astre en question au même méridien. Cette

détermination se fait au moyen de la *lunette méridienne* que l'on appelle aussi *instrument des passages*.

La *lunette méridienne* est une lunette astronomique installée sur deux piliers solides et orientés de telle façon que l'axe optique de l'instrument soit constamment dans

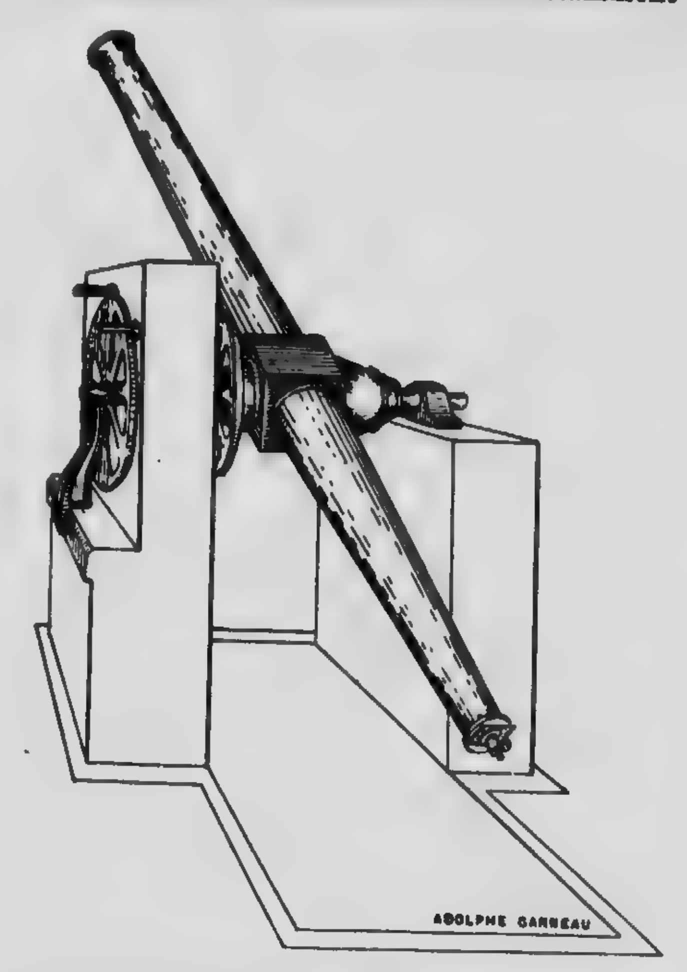


Fig. 12.—Lunette méridienne.

le plan méridien (fig. 12). Ce dernier correspond au fil vertical très fin d'un *réticule* placé dans l'intérieur

de la lunette. On note l'heure précise de l'occultation de l'étoile derrière ce fil, ou, pour plus d'exactitude, on dispose plusieurs fils de part et d'autre du fil moyen, et l'on prend la moyenne des temps des occultations de l'astre derrière chacun de ces fils.

29. **Mesure de la déclinaison.** — On démontre que la déclinaison d'un astre est égale à la hauteur du pôle au-dessus de l'horizon, plus ou moins la distance zénithale de l'astre, suivant qu'il est au nord ou au sud du zénith. Si l'on représente par D la déclinaison, par H la hauteur du pôle et par Z la distance zénithale de l'étoile, on a

$$D = H \pm Z.$$

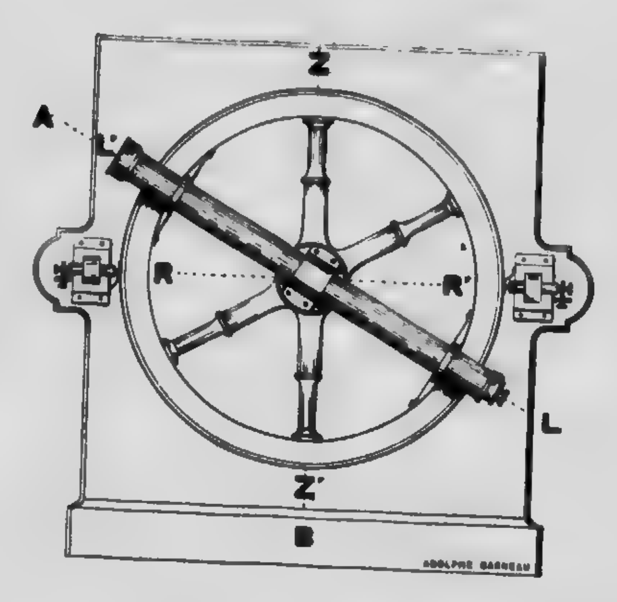


Fig. 13.—Cercle mural.

La hauteur du pôle étant connue, il ne reste plus qu'à mesurer la distance zénithale pour en déduire la déclinaison. Cette mesure se fait au moyen du *cercle mural.*

30. **Cercle mural.**—Ce n'est rien autre chose qu'un limbe divisé, fixé d'une manière invariable sur un mur vertical orienté dans le plan méridien (fig. 13). Autour d'un axe horizontal passant par le centre du cercle, peut tourner une lunette dont le mouvement, dès lors, se fait constamment dans le plan méridien. Le zéro du limbe est à la partie supérieure du cercle, sur la verticale passant par son centre, et l'on gradue de chaque côté jusqu'à 180°.

Lorsqu'une étoile, au moment de son passage au méridien, se trouve sur le prolongement de l'axe optique de la lunette, la position de celle-ci, par rapport au zéro du limbe, mesure la distance zénithale de l'astre.—On remplace maintenant, dans les observatoires, le cercle mural par des cercles méridiens fixés aux lunettes méridiennes; celles-ci, parce qu'elles sont portées sur deux piliers, ont l'avantage d'être retournables.

CHAPITRE III

REPRÉSENTATION ET DESCRIPTION DU CIEL

31. **Catalogues d'étoiles.**—On appelle *catalogues d'étoiles* des tableaux où sont inscrites toutes les étoiles observées. Chacune de ces étoiles, comme on le sait, est parfaitement connue par son ascension droite et sa déclinaison; ces deux coordonnées sont donc indiquées dans le catalogue à la suite du nom, de la lettre ou du numéro qui désignent ces astres. Le plus ancien catalogue d'étoiles est dû à Hipparque, qui vivait 150 ans avant Jésus-Christ. C'est au moyen de ces catalogues qu'on a pu obtenir des représentations de la voûte céleste.

32. **Globes et cartes célestes.**—Il est facile de placer, sur un globe sphérique, les différentes étoiles

dans leurs positions relatives, au moyen de l'ascension droite et de la déclinaison ; on a alors des *globes célestes* qui donnent du ciel étoilé une représentation analogue à celle de la figure de la Terre sur les globes géographiques.

Comme les globes célestes sont difficilement transportables, on a imaginé les *cartes célestes*, c'est-à-dire des surfaces planes sur lesquelles on dispose, par projection des deux hémisphères ou d'une zone plus ou moins grande d'une partie du ciel sur le plan de l'équateur, les étoiles dans les positions qu'elles occupent réellement sur la voûte céleste.

33. **Divers ordres de grandeurs des étoiles.**— Pour représenter plus fidèlement la voûte étoilée et rendre l'étude des globes et des cartes célestes plus aisée, on a imaginé de donner aux étoiles des dimensions en rapport avec leur éclat. C'est dans ce but que l'on a distribué les étoiles en divers ordres de *grandeurs*, en assignant à ce mot le sens exclusif d'*éclat apparent*. Les étoiles les plus brillantes sont dites de *première grandeur*, les autres de 2ième, de 3ième, etc., suivant l'intensité de la lumière dont elles brillent.

Les étoiles visibles à l'œil nu sont comprises ordinairement dans les six premiers ordres de grandeurs ; celles qui ne sont visibles que dans les télescopes, et qu'on appelle, pour cette raison, *télescopiques*, sont rangées dans les ordres suivants jusqu'à la 17e ou 18e grandeur. Malgré l'arbitraire d'une pareille classification et la difficulté d'assigner à chaque étoile sa grandeur propre, les astronomes modernes ont conservé ce mode de groupement, imaginé par les anciens.

34. **Nombre des étoiles.**—On évalue à environ 6,000 le nombre des étoiles visibles à l'œil nu, si l'on tient compte de quelques étoiles de la 7e grandeur aperçues par certains observateurs. Les étoiles des six

premiers ordres, au nombre d'environ 5000, se répartissent à peu près de la manière suivante : il y a

20	étoiles	de 1re	grandeur,
65	"	de 2e	"
190	"	de 3e	"
425	"	de 4e	"
1,100	"	de 5e	"
3,200	"	de 6e	"

Dans ces six ordres, comme l'avait remarqué Struve, le nombre des étoiles de chaque grandeur est d'environ trois fois plus grand que celui de l'ordre précédent.

Quant aux étoiles visibles seulement dans les lunettes astronomiques, leur nombre augmente beaucoup plus rapidement, et il est incomparablement plus grand.

D'après Argelander, il y aurait, environ,

13,000	étoiles	de 7e	grandeur,
40,000	"	de 8	"
142,000	"	de 9e	"

Herschell évaluait à 20 millions le nombre des étoiles, comprises depuis la 1re jusqu'à la 15e grandeur, visibles dans son grand télescope. Il est certain que le ciel entier en contient un nombre plus considérable, nombre qu'il est impossible de déterminer exactement. Si l'on se rappelle qu'une multitude d'étoiles échappent aux instruments les plus puissants, si l'on songe que la *Voie lactée*, l'une des 5,000 ou 6,000 nébuleuses connues, ne contient pas moins de 20 millions d'étoiles, l'on peut affirmer que les profondeurs du ciel sont insondables et que le nombre des étoiles est incalculable.

35. **Constellations.**—Pour la facilité de l'étude, les anciens avaient divisé les étoiles en groupes distincts appelés *constellations* ou *astérismes*, portant le nom

d'animaux, de héros ou d'objets inanimés que l'on dessinait sur la sphère céleste. Ordinairement, il n'y a aucun rapport entre ces figures, dans les limites desquelles sont renfermées les étoiles, et la disposition de celles-ci. Les étoiles les plus brillantes d'une même constellation sont désignées par les premières lettres de l'alphabet grec. Si les alphabets grec et romain ne suffisent pas, on représente les étoiles par des chiffres, ou par leurs coordonnées.

Les constellations connues des anciens et indiquées par Ptolémée étaient au nombre de 48, dont 21 *boréales*, 12 *zodiacales*, c'est-à-dire situées dans la zone parcourue annuellement par le Soleil, et 15 *australes.* De nos jours, grâce aux découvertes des télescopes, grâce aussi à la connaissance plus parfaite des constellations australes, le nombre a été porté à 117.

36. **Principales constellations, description du ciel.**—On peut étudier facilement les constellations sur des globes ou des cartes célestes. Si l'on veut les trouver directement dans le ciel, on emploie la méthode des *alignements*, en partant d'étoiles connues.



Fig. 14.—Grande Ourse et Petite Ourse.

Grande Ourse ou Chariot de David.—On prend comme point de départ une belle constellation formée

de sept étoiles de deuxième grandeur, à l'exception d'une qui est de 3e grandeur : c'est la *Grande Ourse* ou *Chariot de David* (fig. 14), toujours visible au-dessus de l'horizon, vers le nord. Quatre étoiles forment un trapèze (le corps de l'ourse ou les quatre roues), et trois autres une ligne brisée appelée la *queue* ou le *timon ;* α et β sont les *Gardes* de la Grande Ourse.

La Petite Ourse.— Constellation plus petite que la précédente, moins brillante mais de même forme et inversement placée (fig. 14). L'étoile de deuxième grandeur, située à l'extrémité de la queue de la Petite Ourse, est l'*étoile polaire*, à $1^{\circ}\frac{1}{2}$ du pôle céleste boréal. On trouve facilement la Polaire en prolongeant de 5 fois sa longueur la ligne qui joint les Gardes de la Grande Ourse.

Cassiopée.—Cette constellation, en forme d'une M à jambages très ouverts, est toujours opposée à la Grande Ourse par rapport à la Polaire (fig. 14).

Pégase, Andromède, Persée.—La ligne qui a servi à déterminer la Polaire, suffisamment prolongée, rencontre la constellation de *Pégase* ; les trois principales étoiles, de deuxième grandeur, forment, avec α d'Andromède, le *Carré de Pégase. Andromède* a la disposition d'une courbe qui commence à δ du Carré de Pégase et aboutit à α de *Persée.* Ces étoiles rappellent, avec de plus grandes dimensions, la forme de la Grande Ourse.—Dans la main de Persée est la *Tête de Méduse* dont l'étoile la plus brillante, *Algol*, est remarquable par ses variations d'éclat.

Le Lion.—La constellation du *Lion* se trouve sur le prolongement de la ligne des Gardes de la Grande Ourse, du côté opposé à la Polaire ; elle contient une belle étoile de première grandeur, *Régulus.*

Les Gémeaux.—Si l'on prolonge, du côté de β la ligne $\delta\beta$ du rectangle de la Grande Ourse, cette ligne passe par la constellation des *Gémeaux* qui renferme

deux étoiles remarquables, *Castor et Pollux*, cette dernière de première grandeur.

Le Grand Chien.—La même ligne δβ prolongée au-delà des Gémeaux, rencontre le *Grand Chien* dont α, appelée *Sirius* (fig. 15), est la plus belle étoile du ciel.

Le Petit Chien.—La principale étoile du *Petit Chien*, *Procyon*, est de première grandeur, et se trouve sur l'alignement de la Polaire à Castor.

Le Cocher.—*Le Cocher* forme un pentagone irrégulier ; α du Cocher, ou la *Chèvre*, est de première grandeur ; elle se trouve dans la direction δα de la Grande Ourse, prolongée jusqu'à l'est de Persée.

Le Taureau.—Le même alignement, au delà du Cocher, rencontre la constellation du *Taureau* dont la plus brillante, *Aldébaran ou l'Œil du Taureau* (fig. 15), est de première grandeur. Cette constellation renferme aussi les *Pleiades* et les *Hyades*.

Orion. - C'est la plus belle constellation du ciel (fig. 15). Elle est située entre le Grand Chien et le Taureau, et sur l'alignement de la Polaire à la Chèvre. Quatre des principales étoiles d'Orion forment un trapèze dont deux sommets opposés sont constitués par des étoiles de première grandeur, *Bételgeuse* et *Rigel*. On voit, dans l'intérieur du trapèze, trois étoiles de deuxième grandeur, disposées en ligne droite, et qu'on appelle le *Baudrier* d'Orion, le *Râteau* ou encore les *Trois Rois*, qui semblent se diriger vers Sirius.—Il est à remarquer que la ligne des Trois Rois rencontre Sirius, d'un côté, et Aldébaran, de l'autre. Rigel est le pied d'Orion et Bételgeuse l'épaule droite.

Aldebaran
α γ δ ε ζ κ β
Sirius

Fig. 15.—Orion.

LE BOUVIER, LA VIERGE.—Si l'on prolonge la queue de la Grande Ourse, on passe par la constellation du

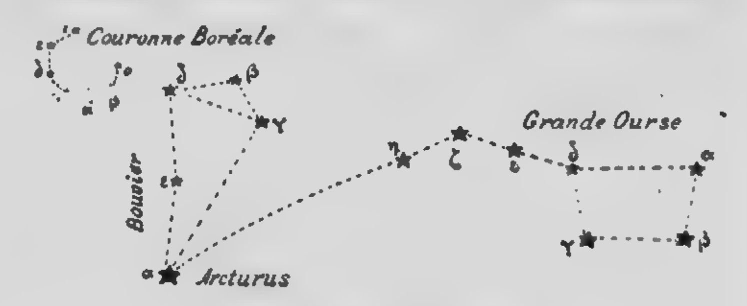


Fig. 16.—Bouvier, Arcturus.

Bouvier, dont *Arcturus*, de première grandeur, est l'étoile la plus brillante du ciel après Sirius (fig. 16).

Cette même ligne, prolongée plus loin, atteint la constellation de la *Vierge*, qui renferme une étoile primaire, l'*Epi de la Vierge*.

LA LYRE.—A l'opposé du pôle par rapport à la Chèvre, se trouve la *Lyre*, dont α, appelée *Wéga*, est de première grandeur.

LE CYGNE.—Le *Cygne*, placé tout près de la Lyre, contient cinq étoiles en forme de croix. La plus brillante, α du Cygne, est une étoile primaire.

L'AIGLE.—On voit au sud du Cygne la constellation de l'*Aigle*, dont l'étoile la plus remarquable, *Altaïr*, est de première grandeur.

Wéga, α du Cygne et Altaïr forment un triangle à peu près isocèle.

37. **Etoiles de première grandeur.**—Elles sont au nombre de vingt, et voici leurs noms :

Sirius, α du Grand Chien.
Canopus, α du Navire.
α du Centaure.
Wéga, α de la Lyre.
Procyon, α du Petit Chien.

Arcturus, α du Bouvier.
Bételgeuse, α d'Orion.
Rigel, β d'Orion.
La Chèvre, α du Cocher.
Achernar, α de l'Eridan.
Aldébaran, α du Taureau.
β du Centaure.
α de la Croix du Sud.
β de la Croix du Sud.
Antarès, α du Scorpion.
Altaïr, α de l'Aigle.
L'Épi, α de la Vierge.
Fomalhaut, α du Poisson Austral.
Pollux, α des Gémeaux.
Régulus, α du Lion.

LIVRE II

La Terre

CHAPITRE I

ISOLEMENT ET SPHÉRICITÉ DE LA TERRE

38. **Isolement de la Terre dans l'espace.**—La Terre, la planète que nous habitons, est un corps sensiblement sphérique et isolé de toutes parts dans l'espace. L'*isolement* de la Terre peut se démontrer par les preuves suivantes :

1° *La périodicité du mouvement diurne* ne peut s'expliquer que par l'isolement de la Terre dans l'espace. On constate, en effet, que les étoiles qui se couchent à l'occident, après avoir décrit leur arc diurne au-dessus de l'horizon, apparaissent de nouveau, au bout de quelques heures, à l'orient, au même point où, le jour précédent, on les avait vues se lever. Elles continuent donc leur course au-dessous de l'horizon, et ce mouvement apparent ne peut évidemment s'effectuer que si le chemin est libre de toutes parts autour de la Terre. Notre planète ne repose donc pas sur un fondement quelconque, pas plus sur les dos de quatre éléphants que sur celui d'Atlas, suivant la fable, mais est complètement isolée dans l'espace.

2° *Les voyages de circomnavigation* démontrent le même fait. En effet, les fondements sur lesquels s'appuierait la Terre, et qui devraient être sans doute de

grandes dimensions, auraient certainement été aperçus par les voyageurs, dans les nombreux voyages qui se sont accomplis dans tous les sens autour du monde. Or, personne n'a jamais rien vu de tel.

L'on sait que le premier voyage de circomnavigation a été entrepris par le célèbre navigateur portugais *Ferdinand Magellan*, le 20 septembre 1519. Parti du Portugal et se dirigeant vers l'ouest, sur l'océan Atlantique, il dut, pour continuer sa route, cotoyer l'Amérique du Sud jusqu'au détroit qui porte son nom, par lequel il entra dans l'océan Pacifique. Il navigua dans la mer du Sud, et son vaisseau, commandé par *Sébastien del Cano*, après la mort du chef de l'expédition, doubla le Cap de Bonne-Espérance et aborda en Europe, au bout de trois années, comme s'il venait de l'orient, après avoir fait le tour du monde. Ces sortes de voyages, fréquents et faciles de nos jours, grâce aux paquebots et aux chemins de fer, démontrent en même temps la sphéricité de la Terre.

39. **La Terre est sensiblement sphérique.**—La Terre, au premier aspect, nous semble une immense table, à peu près plane, et terminée par une circonférence sur laquelle s'appuie la voûte céleste. Malgré ces apparences, il n'est pas difficile de prouver que l'*horizon sensible* est convexe et que *la Terre est ronde.*

1° Lorsque la vue peut s'étendre au loin sans rencontrer d'obstacles, comme dans une vaste plaine et surtout sur l'océan, on voit toujours la ligne d'horizon sous forme d'une circonférence dont l'observateur occupe le centre ; le cercle compris dans cette circonférence est la partie visible du globe, au point où l'on se trouve.—On constate, de plus, que ce cercle s'agrandit de plus en plus à mesure que l'on s'élève à des hauteurs verticales croissantes, et la vue découvre alors des objets que l'on ne pouvait voir à la surface du sol. L'on sait que les marins, placés en vigie au sommet des mâts,

aperçoivent la terre et les navires éloignés avant qu'ils soient visibles pour ceux qui sont sur le pont du navire. La surface de la Terre est donc sphérique, puisque, de tous les solides géométriques, la sphère est le seul corps dont une portion quelconque apparaît toujours sous forme d'un cercle.

2° On constate avec évidence la convexité de la mer lorsqu'on regarde un navire s'éloigner d'un port de mer. On voit d'abord disparaître la coque, puis les voiles

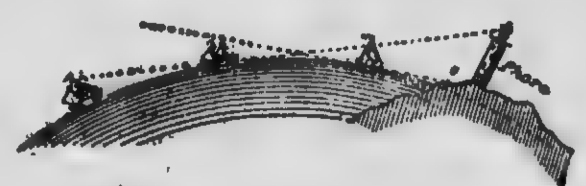


Fig. 17.—Convexité de la mer.

basses, et, enfin, les voiles les plus élevées et le bout des mâts. Comme le même phénomène se vérifie avec une bonne lunette, on ne peut l'attribuer à la faiblesse de la vue. Le navire disparu est aperçu de nouveau, si l'on s'élève rapidement sur une tour, et il sera encore caché, quelque temps après, par la convexité de la mer.

Si, au contraire, le navire s'approche du rivage, on voit d'abord les parties élevées, les voiles hautes, puis les voiles basses et la coque qui surgit de la mer en dernier lieu. Un certain moment, le navire paraît suspendu entre le ciel et l'eau, puis redescend au-dessous de la ligne de visée (fig. 17).

C'est encore grâce à la convexité de la Terre que le sommet des montagnes est éclairé par le Soleil, avant que l'astre du jour soit levé pour les habitants de la plaine, et que les nuages s'illuminent par des rayons qui ne peuvent parvenir à la surface du sol.

3° La meilleure preuve de la sphéricité de la Terre se trouve dans les variations de la hauteur des étoiles en différents points du globe.

Si la Terre était plane, le déplacement d'un observateur à sa surface, insensible par rapport aux distances des étoiles, n'apporterait aucun changement dans l'aspect de la voûte étoilée ; l'on verrait le même ciel partout et l'horizon serait toujours le même.

Or, les choses se passent tout autrement. On voit, à mesure que l'on s'avance vers le nord, l'étoile polaire et les autres étoiles s'élever de plus en plus au-dessus de l'horizon, et quelques étoiles, qui avaient un lever et un coucher, devenir circompolaires. Si l'on se dirige

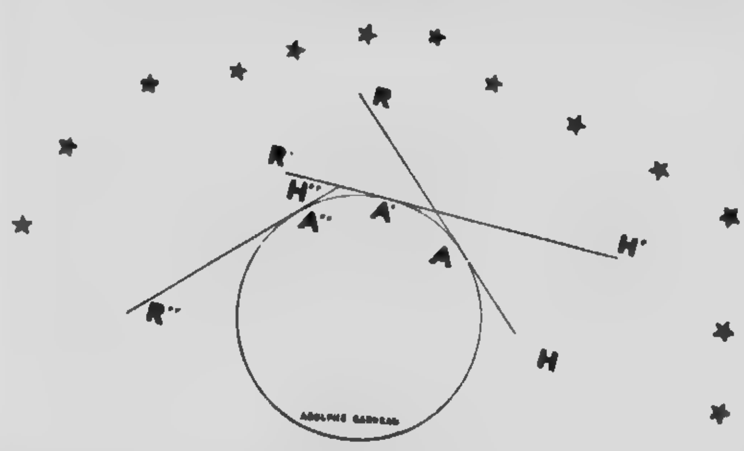


Fig. 18.—Sphéricité de la Terre.

vers le sud, on aperçoit des étoiles que l'on ne voyait pas auparavant. Au pôle nord de la Terre, la Polaire paraît au zénith ; à l'équateur, elle est dans le plan de l'horizon, et toutes les étoiles ont un lever et un coucher. L'étoile polaire, dans l'hémisphère austral, plonge sous l'horizon, et c'est le pôle sud qui s'élève vers le zénith.

La figure 18 montre bien que les apparences du ciel étoilé, aux différents points A, A', A" de la Terre, sont loin d'être les mêmes.

4° On constate, dans les éclipses de Lune, que l'om-

bre de la Terre, projeté sur notre satellite, a toujours la forme circulaire, ce qui indique que le corps qui fait écran a la forme sphérique.

5° On appelle *dépression de l'horizon* l'angle formé, avec l'horizon rationnel, par un rayon visuel tangent au globe terrestre ; cet angle augmente avec l'altitude du lieu d'observation au-dessus de la surface du sol, mais il est toujours le même, dans toutes les directions, pour une même hauteur. Cette constance de la dépression de l'horizon est une nouvelle preuve que la Terre est ronde (fig. 19.)

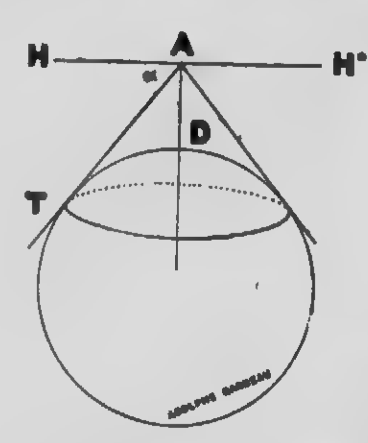


Fig. 19.—Dépression de l'horizon.

Connaissant la hauteur du point d'observation et l'angle de dépression, on peut en déduire la valeur du rayon terrestre.

40. **Antipodes.**—On appelle *antipodes* les lieux de la Terre situés aux extrémités d'un même diamètre ; les horizons de ces lieux sont parallèles, mais les verticales sont dirigées en sens contraires.

REMARQUES.—1° La pesanteur s'exerce sur toute la surface de la Terre ; c'est elle qui retient les eaux de l'océan et l'atmosphère qui entoure le globe de toute part, et c'est vers son centre que tous les objets sont attirés. Il n'y a donc pas lieu de se demander si les habitants de nos antipodes ont la *tête en bas et les pieds en haut.* Leurs pieds, comme les nôtres, sont pressés contre le sol par la pesanteur et leurs têtes sont dirigées vers le ciel. Le sommet d'une sphère est indifféremment à l'un quelconque de ses points, et il n'y a pas, par suite, ni *haut,* ni *bas,* ni *côtés* absolus.

Pour un lieu déterminé, le *haut* est, suivant la verticale, dans la direction opposée à celle du centre de la Terre, et ce dernier point est le *bas* vers lequel, en tous lieux, se dirigent les corps pesants.

2° Il n'y a pas lieu de se demander, non plus, pourquoi la Terre ne tombe pas dans l'espace, comme s'il y avait un *bas* absolu vers lequel elle devrait se précipiter. Comme nous le verrons plus loin, la Terre, soumise à une impulsion initiale et attirée par le Soleil, tombe à chaque instant vers son centre d'attraction, en décrivant autour de lui une courbe elliptique fermée.

CHAPITRE II

COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES : LONGITUDE ET LATITUDE

41. **Pôles, équateur.**—On peut admettre que le centre de la Terre coïncide avec le centre de la sphère

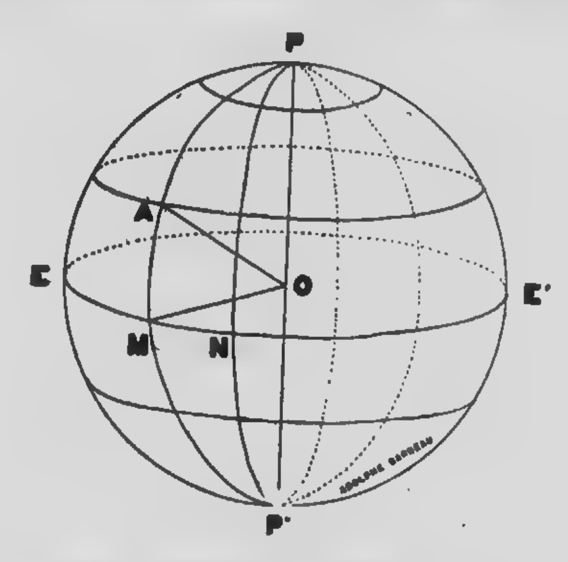


Fig. 20.—Parallèles et méridiens terrestres.

céleste. Dès lors, l'axe du monde, traversant la Terre suivant un diamètre, détermine deux points opposés qu'on appelle les *pôles*, l'un P, le *pôle nord* ou *boréal*, l'autre P' (fig. 20), le *pôle sud* ou *austral* ; la ligne qui joint les deux pôles est l'*axe de rotation* de la Terre.

On appelle *équateur terrestre* le grand cercle EE' (fig. 20) déterminé par un plan mené perpendiculairement à l'axe et passant par le centre de la Terre. L'équateur terrestre, qui coïncide avec l'équateur céleste, partage notre globe en deux hémisphères, l'un l'*hémisphère boréal*, qui contient le pôle nord, et l'autre l'*hémisphère austral*, qui contient le pôle sud

42. **Parallèles et méridiens terrestres.**—Les *parallèles terrestres* sont des cercles parallèles à l'équateur ; ils sont déterminés par des plans menés perpendiculairement à l'axe de la Terre. L'équateur est un grand cercle ; les autres parallèles sont de plus en plus petits, à mesure que l'on se rapproche des pôles (fig. 20).

L'équateur céleste n'est que le prolongement de l'équateur terrestre, et chaque parallèle terrestre correspond à un parallèle céleste, en ce sens qu'il est l'intersection d'un cône dont la base passerait par le parallèle céleste correspondant et dont le sommet serait au centre de la Terre.

On appelle *méridien terrestre* ou simplement *méridien* tout grand cercle passant par les pôles de la Terre. (fig. 20) Les méridiens terrestres coïncident avec les cercles horaires ou méridiens célestes.

43. **Coordonnées géographiques.**—On donne ce nom à deux angles, analogues à l'ascension droite et à la déclinaisom, par lesquels on fixe la position d'un point sur le globe terrestre ; ces coordonnées sont la *longitude* et la *latitude*.

44. **Longitude géographique.** — La *longitude* d'un lieu est l'angle que fait le méridien de ce lieu avec un méridien fixe pris pour origine, ou premier méridien ; on mesure cet angle par l'arc de l'équateur compris entre les deux méridiens. Si le méridien d'origine est PNP' (fig. 20), la longitude du lieu A sera l'arc de l'équateur NM.

La longitude se compte, à partir du premier méridien, de 0° à 180° vers l'est, et de 0° à 180° vers l'ouest ; elle est donc *orientale* pour les endroits de la Terre situés à l'est, et *occidentale* pour ceux qui sont à l'ouest du premier méridien. Tous les points d'un même demi-méridien ont même longitude.

Les différents Etats n'ont pas adopté le même méridien d'origine. Les Français ont toujours compté les longitudes à partir du méridien qui passe par l'observatoire de Paris, les Anglais, à partir de celui de Greenwich, et les Américains, de celui de Washington. Toutefois, l'emploi d'un méridien unique pour tous les pays tend à se généraliser, et, actuellement, le méridien et l'heure de Greenwich sont presque universellement adoptés ; la France s'y est ralliée depuis mars 1911.

45. **Latitude géographique.**—La *latitude* d'un lieu est l'angle que fait la verticale de ce lieu avec le plan de l'équateur ; elle se compte de l'équateur vers les pôles et varie de 0° à ± 90°, positivement dans l'hémisphère nord et négativement dans l'hémisphère sud. La verticale AO du lieu A fait avec le plan de l'équateur l'angle AOM, mesuré par l'arc MA : c'est la latitude du lieu A (fig. 20).—Tous les points d'un même parallèle ont même latitude.

46. **Mesure des longitudes.**—Le principe suivant est la base de la détermination des longitudes : *La différence en degrés des longitudes de deux lieux est égale à la différence des temps de ces lieux, multipliée par* 15.

En effet, la révolution complète de la sphère céleste s'accomplit en 24 heures sidérales ; chaque étoile se déplace donc de 15° par heure, de 15' par minute et de 15" par seconde. Si donc on note le temps qu'une étoile déterminée prend à passer du premier méridien à celui d'un lieu quelconque, ce temps, multiplié par 15, donnera en degrés la longitude de ce lieu, et, par suite, la différence des longitudes de deux lieux donnés s'obtiendra en multipliant par 15 la différence des heures sidérales de ces deux lieux.

Toute la question de la mesure des longitudes revient donc à connaître, au même instant physique, l'heure du lieu dont on cherche la longitude et celle du méridien d'origine, c'est-à-dire l'heure de Greenwich.

L'heure d'un lieu déterminé s'obtient en observant une étoile quelconque au moment de son passage au méridien. Connaissant, au moyen des tables astronomiques, la position de cette étoile en ascension droite par rapport à l'étoile conventionnelle qui a servi à régler la pendule sidérale au premier méridien, on connaît par là même, à l'instant de l'observation, l'intervalle de temps qui sépare les passages de la première étoile et de l'étoile régulatrice ; il est donc facile d'en déduire l'heure du lieu où l'on se trouve.

Pour connaître, au même instant, l'heure du méridien d'origine, on emploie plusieurs méthodes que nous indiquerons sommairement.

1° *Méthode des signaux de feu.*—On peut mesurer la différence des longitudes de deux lieux peu éloignés l'un de l'autre au moyen des *signaux de feu.*

Supposons que l'on lance une fusée en un point situé entre les deux lieux en question ; des observateurs, à chaque station, voient en même temps le signal lumineux, et notent l'heure de leurs stations respectives marquée par des horloges sidérales. On déduit ensuite la différence des longitudes de la différence des heures

observées.—Lorsque les observateurs sont trop éloignés, on établit plusieurs stations intermédiaires.

Le *télégraphe électrique* remplace avantageusement les signaux de feu. A cause de l'extrême vitesse des courants électriques, la comparaison des horloges sidérales des lieux d'observations se fait sans difficulté.

2° *Méthode des observations astronomiques.*—Certaines éphémérides, comme la "*Connaissance des Temps*", publiée à Paris, indiquent d'avance, dans des tableaux spéciaux, l'heure de Paris au moment où certains phénomènes célestes se produisent, par exemple, les éclipses de Lune ou celles des satellites de Jupiter. Si donc on peut observer l'un de ces phénomènes, on a, par suite, l'heure du premier méridien au moment où il a lieu, et, par la comparaison avec l'heure de l'endroit où l'on se trouve, on peut en déduire la longitude du lieu.—Il en est de même de la position de la Lune par rapport aux étoiles ; elle permet, au moyen des tables astronomiques, de faire connaître l'heure du premier méridien.

3° *Méthode des chronomètres.*—En mer, on mesure la longitude par la méthode des *chronomètres*. Ce sont d'excellentes *montres marines* réglées d'avance sur l'heure du premier méridien ; en supposant qu'elles ne se dérangent que très peu pendant toute la durée du voyage, ce qu'il est facile de réaliser, on peut toujours, à chaque instant, comparer l'heure du lieu où l'on se trouve avec celle des chronomètres, et en déduire la longitude.—Ajoutons que, dans certaines circonstances, la *télégraphie sans fil* peut dispenser les marins de l'emploi des chronomètres. En effet, les navires, munis de récepteurs appropriés et placés à une distance convenable, reçoivent plusieurs fois par jour l'heure de Paris lancée, au moyen d'ondes hertziennes, par la puissante station de la Tour Eiffel.

47. **Heures aux différents points de la Terre.** —A la question des longitudes se rattache celle des

heures aux différents points du globe. Il est évident que, dans l'intervalle de 24 heures, à cause de la forme sphérique de la Terre et de son mouvement de rotation sur elle-même, le Soleil passe successivement aux méridiens des lieux situés sur un même parallèle, et que, pour ces mêmes lieux, au même instant physique, les heures varient depuis 0 jusqu'à 24.

Lorsqu'il est midi à Greenwich, il est minuit pour les localités dont la longitude est de 180°, et, entre ces deux demi-méridiens, il y a avance ou retard de 1h. pour une différence de 15° en longitude, suivant que le lieu est à l'est ou à l'ouest de Greenwich.

Pour éviter les inconvénients des changements continuels d'heure dans les voyages, pour les besoins de la vie civile, pour les chemins de fer et les lignes télégraphiques, un certain nombre d'Etats ont adhéré au système des *fuseaux horaires*, par lequel la surface de la Terre est divisée en 24 fuseaux de 15° d'amplitude. L'origine est le méridien de Greenwich que l'on fait passer par le milieu du premier fuseau, lequel s'étend, par suite, à 7° 30' (30 minutes, en temps) de longitude des deux côtés de ce méridien. On est convenu que l'heure du méridien central d'un fuseau sera la même dans toute l'étendue de ce fuseau.

Tous les lieux, situés dans le fuseau d'origine, marquent, *au même instant*, l'heure temps moyen de Greenwich, ou l'heure de l'*Europe occidentale*. Il ne peut y avoir plus de 30 minutes de différence entre l'heure locale d'un endroit et l'heure *normale* du fuseau dans lequel il se trouve.

Dans le fuseau suivant, en allant vers l'est, on marque l'heure de l'*Europe centrale*, qui avance exactement de 1h. sur l'heure de Greenwich.

Les lieux situés dans le troisième fuseau ont l'heure de l'*Europe orientale*, qui avance de 2h. sur l'heure de Greenwich, et ainsi de suite, jusqu'au 12e fuseau, dans lequel l'heure avance de 12h. sur Greenwich.

Vers l'ouest, au contraire, l'heure marquée dans chacun des fuseaux successifs retarde de 1h., 2h., 3h.,.... 12h. sur l'heure de Greenwich.

Le Canada s'étend du 4[e] jusqu'au 9[e] fuseau, et l'heure change cinq fois d'un océan à l'autre.

Le tableau suivant indique les heures, en retard sur celle de Greenwich, marquées dans chacun de ces fuseaux, ainsi que les parties de notre pays qu'ils comprennent :

4h. : *Atlantic Standard Time.* — Provinces Maritimes.
5h. : *Eastern Standard Time.*— Labrador occidental, Province de Québec, Ontario jusqu'au 82° 30' ouest.
6h. : *Central Standard Time.*—Manitoba, Keewatin.
7h. : *Mountain Standard Time.*—Alberta, Saskatchewan.
8h. : *Pacific Standard Time.* — Colombie Britannique.
9h. : Yukon.

Le système des fuseaux horaires, à partir du méridien de Greenwich, est actuellement adopté par presque tous les pays, y compris la France depuis 1911.

Remarque.—Il est à noter que la date d'un jour quelconque n'est pas la même aux différents points du globe pour le même instant physique. Si l'on suppose la Terre divisée en deux hémisphères par le méridien de Greenwich, tous les lieux situés dans l'hémisphère *est*, par rapport au méridien d'origine, auront même date qui est d'un jour en avant sur celle des lieux situés dans l'hémisphère *ouest*. Quand on traverse, en marchant vers l'est, le méridien antipode de Greenwich, il faut retrancher un jour à la date, tandis qu'il faut en ajouter un quand on traverse ce méridien en allant vers l'ouest. Dans le premier cas, on compte

le même jour deux fois, et, dans le second, on *saute un jour*.

La ligne de changement de date, dans les îles de l'Océanie, n'est pas toujours le méridien antipode de Greenwich, parce que, dans ces îles, on compte quelquefois les dates de manières différentes. Au nord, cette ligne traverse le détroit de Behring, et, au sud, elle contourne les îles Fidji, par conséquent dévie un peu vers l'est. (1)

48. **Mesure de la latitude.**—La mesure de la latitude d'un lieu repose sur la proposition suivante :

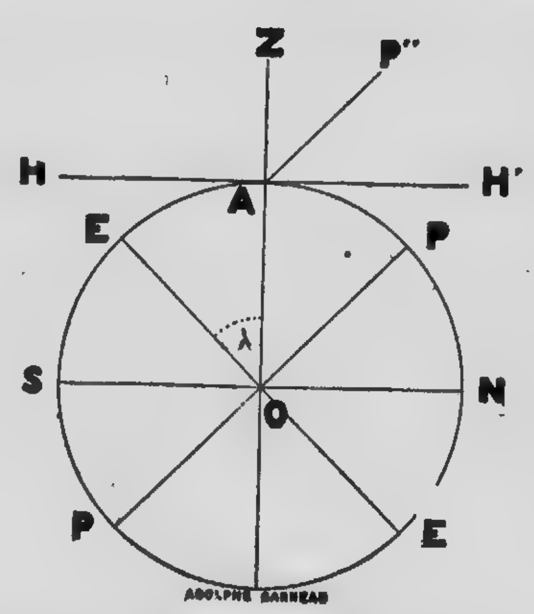


Fig. 21.—Latitude et hauteur du pôle.

La latitude d'un lieu est égale à la hauteur du pôle au-dessus de l'horizon de ce lieu.

---

(1) *Annuaire du Bureau des Longitudes* pour 1912.

Soit A le lieu dont il s'agit (fig. 21), AZ la verticale de ce lieu, HH' l'horizon visuel, EE, l'équateur, PP' la ligne des pôles, et AP" une parallèle à cette ligne. La latitude du lieu A est l'angle AOE ou λ, et la hauteur du pôle au-dessus de l'horizon est l'angle P"AH'. Or, l'on voit par la figure que ces deux angles sont égaux, comme ayant leurs côtés respectivement perpendiculaires. Il s'en suit donc que la latitude d'un lieu est égale à la hauteur du pôle au-dessus de l'horizon de ce lieu.

49. **Mesures pratiques de la latitude.**—La hauteur du pôle peut s'obtenir en mesurant directement son complément, c'est-à-dire la distance zénithale du pôle ou l'angle ZAP".

Pour cela, on mesure, avec la lunette méridienne, (fig. 22), les distances zénithales, à douze heures d'intervalle, d'une même étoile circompolaire, au moment de ses passages supérieur et inférieur au méridien, c'est-à-dire les angles ZOe et ZOe'. A cause de l'égalité des angles eP, et e'P, on peut écrire

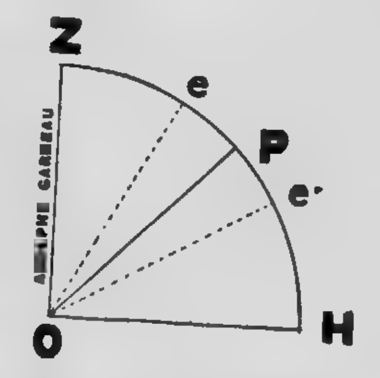


Fig. 22.—Mesure de la latitude.

$$PZ = \frac{Ze + Ze'}{2}.$$

Il ne reste plus qu'à retrancher PZ de 90° pour avoir PH, c'est-à-dire la hauteur du pôle cherchée.

Cette méthode, parce qu'elle suppose deux observations à 12 heures d'intervalle, ne peut s'appliquer en

mer. On procède alors de la manière suivante : comme on connaît les distances polaires des étoiles principales, puisque les tables maritimes fournies par les astronomes indiquent les déclinaisons de ces étoiles, on n'a qu'à mesurer, au moyen d'un instrument appelé *sextant*, la hauteur méridienne d'une de ces étoiles au-dessus de l'horizon de la mer, et d'ajouter cette hauteur à la distance polaire de cette même étoile. La somme obtenue donne la hauteur du pôle au-dessus de l'horizon, par suite la latitude du lieu. On trouve dans les mêmes tables astronomiques la déclinaison du Soleil pour tous les jours de l'année ; si, dès lors, on mesure la hauteur du Soleil à midi avec le sextant, on pourra en déduire la hauteur du pôle et la latitude du lieu.

50. **Navigation.** – C'est en mesurant la latitude et la longitude, c'est-à-dire en *faisant le point*, que les marins connaissent la position de leurs navires aux différents endroits de l'océan ; ils peuvent alors, au moyen de la *boussole*, se diriger vers les points dont les coordonnées géographiques sont connues. Ils mesurent aussi la vitesse du navire au moyen du *loch*, ou plutôt, actuellement, au moyen d'appareils plus perfectionnés et plus précis, ce qui leur permet d'*estimer* leur position dans leur course, par rapport aux points de départ et d'arrivée. Pour plus de précision, il est nécessaire de faire de temps en temps de nouvelles mesures de la longitude et de la latitude.

51. **Coordonnées géographiques des principales villes du Canada.**

NOMS DES VILLES.	LATITUDE NORD.	LONGITUDE OUEST.
Banff	51° 10'	115° 35'
Battleford, Sask.	52° 41'	108° 20'
Brandon, Man	49° 51'	99° 57'
Charlottetown, I. P. E.	46° 14'	63° 10'
Edmonton	53° 31' 58"	113° 20' 27"
Fort Churchill	5[illegible]° 51'	94° 11'
Fort Simpson	61° 52'	121° 43'
Fredericton, N. B.	45° 57'	66° 36'
Halifax	44° 39'	63° 36'
Hamilton	43° 16'	79° 54'
Kingston	44° 18'	76° 29'
London	42° 59'	81° 18'
Moncton.	46° 9'	64° 45'
Montréal.	45° 30' 17"	73° 34' 39".45
New-Westminster	49° 13'	122° 54'
Ottawa.	45° 23' 37"	
Prince Albert, Sask.	53° 10'	106° 0'
Québec	[redacted]	**71° 12' 23".4**
Regina	50° 27'	104° 37'
Saint-Jean, N.-B.	45° 17'	66° 4'
Toronto	43° 39' 35"	79° 23' 39"
Vancouver	49° 17' 48"	123° 7' 5"
Winnipeg	49° 53' 51"	97° 8' 28"

CHAPITRE III

FORME EXACTE ET DIMENSIONS DE LA TERRE

52. **La Terre n'est pas une sphère parfaite.**— Nous avons vu plus haut (39) comment on démontre la sphéricité de la Terre. Si notre globe était une sphère parfaite, les méridiens seraient des circonférences, et

tous les degrés de latitude, aux différents points de notre planète, auraient même longueur. Or, des mesures précises, effectuées par un grand nombre d'astronomes, ont prouvé que la longueur de l'arc de 1° en latitude est plus grande près des pôles que dans le voisinage de l'équateur. L'hypothèse de l'exacte sphéricité de la Terre doit donc être rejetée, et il faut admettre que les méridiens sont des courbes aplaties dans le sens de la ligne des pôles.

53. **Mesure d'un arc de méridien.**—Pour déterminer la forme d'un méridien, dans le but d'en déduire celle de la Terre, il faut mesurer la longueur de l'arc de 1° en différents points du globe, près des pôles et près de l'équateur, et, pour cela, opérer sur des arcs d'assez grande amplitude, afin de saisir nettement les variations de longueur des arcs de 1° aux différentes latitudes.

Soit à mesurer la portion AM de la méridienne entre les deux points A et M. Connaissant la différence des latitudes des deux lieux A et M, on en déduit, par une simple soustraction, l'amplitude de l'arc AM, c'est-à-dire le *nombre de degrés* qu'il contient. Quant à la longueur réelle de l'arc AM (exprimée en unités de longueur), les inégalités du sol et des difficultés de toutes sortes ne permettent pas de mesurer une ligne aussi longue sur le terrain, d'autant plus que la longueur cherchée entre les deux stations est la distance réduite au niveau de la mer. On mesure la longueur de l'arc AM par la méthode des triangulations géodésiques (fig. 23).

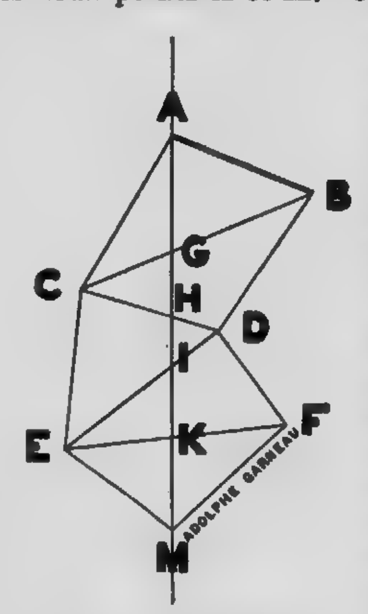


Fig. 23.—Triangulation.

On commence par mesurer, sur un terrain bien uni et régulier, une *base* AB, avec toute la précision possible et avec des précautions minutieuses sur lesquelles nous ne pouvons insister; puis on choisit, de part et d'autre de la méridienne, des points B, C, D, etc. (par exemple des clochers, des tours, des collines) tels que de chacun d'eux, avec la lunette du théodolite, on puisse apercevoir les points voisins. On établira, de la sorte, un *réseau de triangles* dont le point de départ sera la base AB et dont les éléments pourront être calculés, si l'on a mesuré les angles qu'ils forment. La résolution de tous ces triangles permettra de connaître les longueurs AG, GH, HI, etc., lesquelles, ajoutées ensemble, donneront la longueur totale AM cherchée.

L'arc AM étant connu, en longueur effective et en degrés, on en déduit facilement la longueur de l'arc de 1°.

En comparant les mesures de ce genre effectuées en différents points de la Terre, on a reconnu que les arcs de 1° sont de plus en plus longs, à mesure que l'on se rapproche des pôles.

54. Aplatissement de la Terre aux pôles.— L'augmentation de longueur des arcs de 1° de l'équateur vers les pôles nous conduit à admettre que les méridiens ne sont pas des circonférences, mais des ellipses, et que la Terre est *aplatie aux pôles.*

En effet, si l'arc *aa'*, dans la figure 24, est plus petit que l'arc *bb'*, ce dernier fait partie d'une circonférence plus grande, dont la courbure, par suite, est moins sensible.

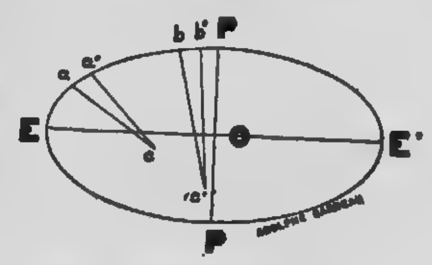


Fig. 24.—Aplatissement de la Terre.

La Terre peut donc être considérée comme

un solide résultant de la rotation d'une demi-ellipse PEP' (fig. 24) autour de son petit axe PP'; c'est ce qu'on peut désigner sous le nom d'*ellipsoïde de révolution aplati*.

55. **Valeur de l'aplatissement.**—Les principales mesures d'arcs de méridien sont celles effectuées par Clairaut et Maupertuis, en Laponie (1736), par Bouguer et La Condamine, au Pérou, par Delambre et Méchain, en France et en Espagne (1792). Depuis ce temps, les procédés se sont perfectionnés, et la plupart des pays de l'Europe, ainsi que de l'Amérique, de l'Afrique et de l'Asie sont entrés dans le mouvement des mesures géodésiques. Les plus importantes mesures d'arcs de méridien sont :

L'arc anglo-franco-espagnol qui, de Laghouat (Algérie) aux îles Shetland, embrasse 27° de latitude ;

L'arc russo-scandinave, qui a 25° d'amplitude, du Danube à l'océan Glacial ;

Les arcs africains, que les Anglais se proposent d'étendre du Cap au Caire ;

Les arcs américains, dont les uns sont encore en cours d'exécution, à travers les Etats-Unis ;

L'arc de l'Equateur, mesuré tout récemment (1899-1906) par les officiers français chargés de la révision de l'arc du Pérou ;

Enfin, les arcs obliques des Etats-Unis, suivant le littoral de l'océan Atlantique et de l'océan Pacifique.

En combinant ensemble ces diverses mesures d'arcs, on peut calculer l'aplatissement de la Terre et déterminer la forme de l'ellipsoïde terrestre.

Si l'on désigne par a le demi-grand axe, par b le demi-petit axe du méridien terrestre, l'*aplatissement* α est représenté par l'expression

$$\frac{a - b}{a} = \alpha,$$

c'est-à-dire, le rapport de la différence des axes au plus grand.

D'après Faye, on aurait pour valeur de l'aplatissement,

$$\frac{a-b}{a}=\frac{1}{292}.$$

En se basant sur les observations du pendule, M. Helmert admet la valeur 1 : 298. D'après la discussion des mesures récentes américaines, on aurait 1 : 297.

La différence de longueur des deux rayons équatorial et polaire n'est environ que de 13 milles ; elle serait de 1 millimètre sur un globe de 3 décimètres de rayon.

Sur un globe de 12 pieds de diamètre, l'aplatissement serait représenté par $5\frac{1}{2}$ lignes.

La Terre est donc très sensiblement sphérique, et, pour beaucoup de calculs, on peut la considérer comme parfaitement sphérique.

Les plus hautes montagnes, de même que les plus grandes dépressions océaniques, n'altèrent pas, à vrai dire, la forme de la Terre. Le mont Gaourisanka, dans l'Himalaya, haut de 29,100 pieds, n'est que la $^1/700$ partie du rayon terrestre; il n'aurait qu'un peu plus d'une ligne de hauteur sur un globe de 12 pieds de diamètre.

50. **Cause de l'aplatissement.**—L'aplatissement de la Terre aux pôles et le renflement équatorial sont une conséquence du mouvement de rotation que la science reconnaît à notre globe et que nous prouverons plus loin. Si, en effet, comme l'enseigne la géologie, la Terre a commencé par être fluide et incandescente avant d'avoir la rigidité et la température qu'elle a aujourd'hui, le mouvement de rotation autour de l'axe polaire a dû développer une force centrifuge maximum à l'équateur, et cette force a dû avoir pour résultat

d'éloigner de l'axe de rotation les particules matérielles, surtout à l'équateur et dans les régions voisines. C'est ce qui explique l'allongement des méridiens à l'équateur et l'aplatissement polaire.—Nous verrons plus loin que les autres planètes sont aplaties comme la Terre, et que la valeur de leur aplatissement augmente avec leur vitesse de rotation.

57. **Dimensions de la Terre.**—L'étude comparative des mesures d'arcs de méridiens a conduit aux résultats suivants, en partant de la valeur de l'aplatissement 1 : 293 donnée par Clarke (1880) et adoptée encore par l'*Annuaire du Bureau des Longitudes*.

Rayon équatorial.........	6,378,249^{m}. 23
Rayon polaire............	6,356,515^{m}. 0.

Les formules de la géométrie permettent de calculer la surface et le volume de l'ellipsoïde terrestre, en partant de la valeur de son rayon moyen. Voici les valeurs les plus récentes :

Quart du méridien elliptique......	10,001,868^{m}.
Longueur moyenne de l'arc de 1° du méridien	111,131^{m}. 9.
Circonférence équatoriale..........	40,075,721^{m}.
Surface en kilomètres carrés......	510,065,000.
Volume en kilomètres cubes......	1,083,205 × 10^{6}.
Rayon d'une sphère ayant même surface que la Terre..............	6,371,003^{m}.
Densité moyenne de la Terre rapportée à l'eau....................	5. 5. (1)

Valeurs approchées en unités anglaises :

Rayon moyen de la Terre	1,320 lieues.
Surface de la Terre en lieues carrées..	22,000,000.
Volume de la Terre en lieues cubes..	1 milliard.

(1) *Annuaire du Bureau des Longitudes* pour 1913.

58. **Origine et valeur du mètre.**—D'après la définition primitive, le *mètre* est la dix-millionième partie du quart du méridien terrestre. Lorsqu'on résolut, en France, de créer un nouveau système de poids et mesures, on convint de prendre pour base la longueur du méridien terrestre. C'est pourquoi Delambre et Méchain, en 1792, furent chargés de mesurer l'arc de méridien qui sépare Dunkerque de Barcelone. C'est par cette nouvelle mesure, combinée avec celles effectuées cinquante ans auparavant au Pérou et en Laponie, que l'on détermina la longueur du quart du méridien, d'où l'on a déduit la valeur du mètre. D'après les mesures géodésiques modernes, la dix-millionième partie du quart du méridien terrestre est plus grande que le mètre, tel qu'il vient d'être défini, d'environ $0^m.0002$, soit 2 dixièmes de millimètre.

Le *mètre légal* actuel (loi du 11 juillet 1903) est la longueur, à la température de 0° C., du prototype international, en platine iridié, sanctionné par la Conférence générale des Poids et Mesures, tenue à Paris en 1889, et qui est déposé au Pavillon de Breteuil, à Sèvres. La copie No 8 de ce prototype international, déposé aux Archives nationales, est l'étalon légal pour la France.

Le mètre vaut 3.280843 pieds anglais, ou environ 39.37 pouces.

59. **Atmosphère terrestre, réfraction atmosphérique.**—L'atmosphère est une couche gazeuse, composée principalement d'un mélange d'oxygène et d'azote, qui entoure la Terre de toutes parts, et dont la densité et la température décroissent avec l'altitude.

La variation de la densité de l'air est la cause du phénomène de la *réfraction atmosphérique*, c'est-à-dire la déviation que subissent les rayons lumineux venant du Soleil et des astres, déviation qui les fait paraître plus élevés qu'ils ne le sont réellement au-dessus du plan de l'horizon. L'effet de la réfraction est d'autant

plus marqué que les astres sont plus près de l'horizon ; c'est ainsi que le Soleil, soulevé d'un demi-degré par la réfraction, paraît entièrement levé lorsqu'il est encore réellement caché sous l'horizon.

CHAPITRE IV

MOUVEMENT DE ROTATION DE LA TERRE

60. **Explication du mouvement diurne apparent de la sphère céleste.**—Nous avons vu plus haut (9) que tous les astres semblent fixés sur une sphère, que nous avons appelée *sphère céleste*, et qui paraît tourner tout d'une pièce d'*orient en occident*, dans l'espace de 24 heures, autour d'un axe passant par la Terre. Ce mouvement diurne de la sphère céleste est-il réel ? Ne pourrait-on pas l'expliquer par le mouvement de rotation de la Terre, d'*occident en orient*, autour de l'un de ses diamètres ?

Il est clair que les deux hypothèses conduisent aux mêmes apparences. Dans un convoi de chemin de fer ou sur un bateau, on voit les objets extérieurs se déplacer en sens contraire du mouvement réel qui emporte l'observateur. Le mouvement des cieux pourrait donc s'expliquer de la même façon, c'est-à-dire qu'il serait alors le résultat apparent de la rotation de la Terre sur elle-même.

Il nous reste à choisir entre ces deux systèmes ; nous allons démontrer que le ciel est immobile et que c'est réellement la Terre qui tourne sur elle-même, en donnant lieu aux apparences que nous constatons.

61. **Preuves de la rotation de la Terre.**—1° On connaît, d'une manière certaine, les distances à la Terre de la Lune, du Soleil, des planètes et de quelques

étoiles. Si ces astres tournent, dans l'intervalle de 24 heures, autour de points situés sur l'axe du monde, il est facile de déterminer les vitesses dont ils seraient animés. La Lune parcourrait 6 lieues à la seconde, le Soleil 1875, Saturne 16,000, Neptune 67,500, et l'étoile la plus rapprochée 520 millions de lieues. De pareilles vitesses sont entièrement inadmissibles.

2° Le mouvement des astres autour de la Terre serait peut-être possible si l'on admettait qu'ils sont tous fixés à la sphère céleste, par suite qu'ils sont tous à égale distance de la Terre, et si, de plus, des liens mystérieux, qui les uniraient les uns aux autres, leur permettaient d'effectuer un mouvement d'ensemble parfait.

Or, l'on sait que les astres sont à des distances très inégales de la Terre, et qu'ils sont, en outre, indépendants les uns des autres. Le mouvement d'ensemble de tous les corps célestes, animés de vitesses très différentes, autour d'un axe passant par l'un des plus petits d'entre eux, n'est donc guère probable, tandis que la rotation de la Terre sur elle-même rend parfaitement compte de toutes les apparences.

3° On démontre que les autres planètes, qui présentent de nombreux traits de ressemblance physique avec la Terre, tournent autour du Soleil, en même temps qu'elles tournent sur elles-mêmes, et l'on connaît avec certitude, pour la plupart d'entre elles, la durée de leur rotation. On peut conclure, de ce double fait : 1° que, dans l'hypothèse de l'immobilité de la Terre, le Soleil entraîne chaque jour autour de nous son cortège de planètes, ce qui complique sans raison le système du monde ; 2° que, par suite de leur mouvement de rotation, les apparences que l'on constate sur Terre seraient les mêmes pour tout astronome placé sur chacune d'elles ; sur tous ces astres, on verrait, comme sur Terre, la sphère céleste tourner autour d'un axe passant par leur centre. Le mouvement apparent de la sphère céleste,

qui ne serait qu'une illusion pour les habitants supposés de Mars, de Jupiter ou de Saturne, puisque nous savons que ces planètes tournent sur elles-mêmes, n'est pas plus réel pour les observateurs terrestres.

4° On a constaté par l'expérience que le nombre des oscillations d'un même pendule augmente de l'équateur vers les pôles. Il faut donc admettre une variation dans l'intensité de la pesanteur.

Or, cette variation est due à deux causes : l'aplatissement de la Terre aux pôles et la force centrifuge. En effet, les corps, situés près des pôles, étant plus rapprochés du centre de la Terre que dans les régions équatoriales, sont plus attirés et doivent peser davantage ; d'autre part, la force centrifuge, maximum à l'équateur et nulle aux pôles, s'oppose à l'attraction et diminue le poids des corps à mesure qu'ils s'éloignent de ces derniers points ; l'observation a vérifié la loi de variation de la pesanteur attribuée à ces deux causes.

Or, on rend compte, comme on le sait, de l'aplatissement de la Terre par son mouvement de rotation, et la force centrifuge le suppose nécessairement.

5° Si la Terre tourne, un corps qui tombe d'une certaine hauteur ne doit pas suivre rigoureusement la verticale, mais doit être dévié un peu vers l'est, puisque, en vertu du principe de l'indépendance des effets des forces, il conserve tout le temps de la chute la vitesse qu'il avait au point de départ, laquelle est plus grande que celle du point d'arrivée. Or, cette déviation a été constatée par des expériences directes ; elle est environ, à l'équateur, de 1.3 pouce pour une hauteur de 328 pieds. Elle démontre donc que la Terre tourne réellement sur elle-même.

6° Le mouvement d'ensemble des astres ne peut se concilier avec les lois de la mécanique. En effet, l'on sait qu'un corps ne peut décrire un cercle d'un mouvement uniforme que s'il est attiré vers le centre de ce cercle, et que cette force d'attraction, qui dévie la

corps constamment de la ligne droite, doit varier avec la masse, la vitesse et la distance du corps ; l'on sait, de plus, que cette force d'attraction doit être suffisante pour contrebalancer l'effet de la force centrifuge qui tendrait à éloigner le corps de son cercle de rotation.

Si donc les étoiles tournent autour de nous, dans des plans perpendiculaires à l'axe du monde et à des distances plus ou moins grandes de la Terre, il faudrait admettre, sur cet axe, autant de centres matériels d'attraction qu'il y a d'astres, ce qui est contraire à l'observation, ou bien supposer que ces corps célestes gravitent autour de points mathématiques échelonnés sur l'axe de la sphère céleste, ce qui est évidemment absurde. Donc, etc.

7° Enfin, le mouvement de rotation de la Terre a été démontré d'une façon décisive par la belle expérience de Foucault, exécutée au Panthéon de Paris, en 1851. L'on sait que le plan d'oscillation d'un pendule est invariable, même lorsque le fil est tordu, et ce phénomène peut se prouver directement par l'expérience ; la seule force qui agit sur le pendule est la pesanteur et la direction de cette force ne change pas. Or, Foucault a fait voir que le plan d'oscillation d'un pendule de plus de 50 mètres de long paraît se déplacer et semble faire le tour de l'horizon. Il est donc évident, puisque la fixité du plan pendulaire est un fait indéniable, que c'est la Terre qui se déplace et tourne en sens contraire du déplacement apparent. La déviation du plan pendulaire, nulle à l'équateur, serait de 15° à l'heure aux pôles ; à Québec, elle est de 10°. La durée de la rotation de ce plan varie en raison inverse du sinus de la latitude.

62. **Objections contre le mouvement de la Terre.**—Nous répondrons brièvement à deux des principales objections que l'on a faites contre le mouvement de rotation de la Terre.

1° La Terre ne tourne pas, a-t-on dit en premier

lieu, parce qu'on ne la voit pas et qu'on ne la sent pas tourner.

L'observateur sur Terre est dans les mêmes conditions qu'un voyageur placé dans une chambre fermée d'un bateau qui suit le courant d'un fleuve peu rapide. Si le déplacement du navire se fait sans secousses, il est impossible, pour le voyageur en question, de s'apercevoir de son mouvement, à moins de regarder, par une fenêtre, le déplacement des objets extérieurs en sens inverse. Comme le mouvement de la Terre est régulier et se fait sans secousses, et que tous les objets qui nous entourent tournent avec la même vitesse, l'illusion de l'immobilité de la Terre est complète, et les astres au firmament, comme les rives du fleuve, paraissent se déplacer en sens inverse du mouvement réel de notre globe.

2° On a dit aussi que, si la Terre tournait, un corps qui tombe d'une certaine hauteur devrait tomber en arrière de la verticale, puisque, pendant toute la durée de la chute, la Terre a eu le temps de se déplacer.

Cette objection est résolue d'avance par ce que nous avons dit plus haut (61, 5°). Non seulement les corps, si la Terre tourne, ne tombent pas en arrière de la verticale, mais le principe mécanique de l'indépendance des effets des forces exige qu'ils tombent en avant, ce que d'ailleurs l'expérience a vérifié.

CHAPITRE V

CARTES GÉOGRAPHIQUES

68. **Représentation de la surface terrestre.**— Notre planète étant sphérique, ou à peu près, un *globe* la représente telle qu'elle est, et avec une grande exactitude. Au moyen des longitudes et des latitudes,

chaque pays, chaque localité occupent sur le globe la position qu'ils ont réellement à la surface de la Terre. Si l'on n'était pas forcé de donner aux globes terrestres des dimensions nécessairement restreintes, ce serait sans aucun doute la meilleure manière de représenter la Terre. Pour les représentations plus riches en détails, il faut *projeter sur des surfaces planes des parties plus ou moins grandes de la surface terrestre :* c'est le but des *cartes géographiques.*

64. **Cartes géographiques.**— Les cartes géographiques sont de deux sortes : celles qui représentent toute la surface de la Terre sont dites *cartes générales* ou *mappemondes ;* celles qui ne représentent qu'une portion plus ou moins grande de la surface du globe sont appelées *cartes particulières.*

65. **Construction des cartes géographiques.**— Il est impossible de représenter exactement la Terre sur un plan, parce que la surface d'une sphère n'est pas développable ; pour obtenir des resultats aussi fidèles que possible, on emploie des constructions géométriques, qui sont les systèmes de *projections orthographique* et *stéréographique*, pour les mappemondes, et les systèmes de *développements cylindrique et conique*, pour les cartes particulières.

66. **Projection orthographique.**—Dans la construction des mappemondes, il s'agit de représenter tout un hémisphère sur le plan d'un grand cercle, soit un méridien, soit l'équateur. Le système de *projection orthographique* repose sur ce principe connu de géométrie : *La projection d'un point sur un plan est le pied de la perpendiculaire abaissée de ce point sur le plan.* Dès lors, tous les

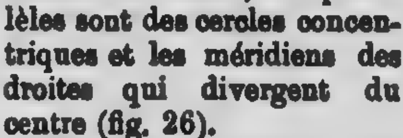


Fig. 25.—Projection orthographique sur un méridien.

points d'un hémisphère se projettent par des perpendiculaires abaissées de ces points sur le plan qui sert de base.

Si le plan de projection est un *méridien*, la ligne des pôles PP' (fig. 25) est la projection du méridien perpendiculaire au plan de projection, les parallèles terrestres et l'équateur EE sont des lignes perpendiculaires à l'axe de la Terre, et les méridiens, hors le méridien moyen, sont des ellipses dont le grand axe est la ligne des pôles PP'.

Si l'on projette sur l'*équateur*, le pôle de l'hémisphère projeté est en P, au centre du cercle, les parallèles sont des cercles concentriques et les méridiens des droites qui divergent du centre (fig. 26).



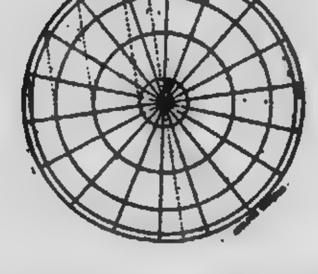


Fig. 26.— Projection sur l'équateur.

Ce système convient pour les cartes de la Lune et des planètes, parce que, n'étant rien autre chose que la perspective d'un hémisphère vu d'une distance infinie, il nous représente ces astres tels qu'ils nous apparaissent.

Pour les cartes terrestres, il a l'inconvénient grave de déformer les parties situées près des bords de l'hémisphère, tandis que les parties centrales sont projetées en vraie grandeur. On emploie de préférence, pour ces raisons, le système de projection *stéréographique*.

67. **Projection stéréographique.** — C'est tout simplement la perspective d'un hémisphère tel qu'il serait vu par un observateur placé à l'extrémité du diamètre perpendiculaire au plan de projection. Si l'on mène des rayons visuels joignant les différents points de l'hémisphère à l'œil de l'observateur, ces rayons

percent le plan de projection, ou la *carte*, en des points qui sont les *perspectives* des premiers.

La *projection stéréographique* présente de nombreux avantages, à cause des deux propriétés importantes dont elle jouit :

1° *La projection de tout cercle de la sphère terrestre est aussi un cercle.*—Il faut excepter ceux qui passent par le point de vue : ceux-là se projettent suivant des droites.

2° *Les angles de deux courbes sur la sphère et les angles de leurs projections sont égaux.*

Il résulte de ces deux propriétés que le système de projection stéréographique conserve la *similitude des figures*, c'est-à-dire qu'une petite portion de la surface terrestre, assimilable à une surface plane, est représentée sur la carte par une figure semblable. Toutefois, les *aires* ou surfaces sont altérées. Au centre de la carte, comme on le voit dans la figure 27, les surfaces sont sensiblement réduites au quart, tandis que, vers les bords, les projections se font à peu près en vraie grandeur.

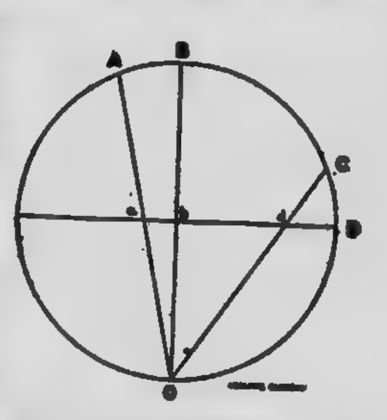


Fig. 27.—Projection stéréographique.

Comme dans le système de projection orthographique, on peut projeter soit sur un méridien, soit sur l'équateur. Dans le premier cas, les parallèles et les méridiens sont des arcs de cercle ; dans le deuxième, les méridiens sont représentés par des rayons de l'équateur et les parallèles par des cercles concentriques.

68. **Cartes particulières.**— Dans la construction des cartes particulières représentant un pays, une

province, on emploie les *développements conique* ou *cylindrique*, en assimilant, avec assez d'exactitude, une partie restreinte de la Terre à une surface conique ou cylindrique que l'on peut développer ensuite sur un plan. Le développement cylindrique ne convient qu'à la représentation des régions équatoriales.

69. **Projection de Mercator.—Cartes marines.** —Les cartes marines, d'après le système de Mercator, sont des modifications du développement cylindrique. Dans ce système, les méridiens sont représentés par des lignes verticales équidistantes, tandis que les parallèles, droites perpendiculaires aux premières, ont des distances qui croissent plus rapidement que leurs latitudes (fig. 28).

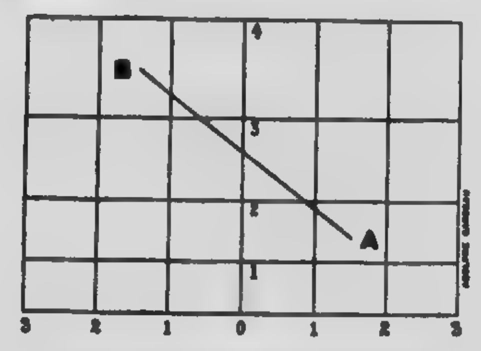


Fig. 28.—Projection de Mercator.

Le grand avantage de ces cartes, dont se servent les marins pour se diriger sur l'océan, c'est que la courbe, qui coupe les différents méridiens sous le même angle, est représentée sur la carte par une ligne droite. La boussole indique constamment la direction des méridiens que l'on traverse ; si donc, sur la carte, on joint par une ligne droite le point de départ avec le point d'arrivée, il suffira, pour arriver sûrement à destination, de mesurer l'angle que fait cette droite avec les méridiens sur la carte, et de maintenir le navire sous le

même angle par rapport aux méridiens successifs qu'il franchit dans [redacted]. La courbe que décrit alors le navire s'appelle une *loxodromie* (du grec, *course oblique*). Comme il est très facile de se diriger, grâce à la boussole, suivant une courbe de ce genre, on préfère ordinairement la loxodromie à l'arc de grand cercle qui serait le chemin le plus court, mais qui ne traverse pas les méridiens successifs sous le même angle; les marins seraient donc dans l'obligation de modifier à chaque instant la direction du navire.

LIVRE III

Le Soleil

CHAPITRE I

MOUVEMENT ANNUEL APPARENT DU SOLEIL

70. **Mouvement propre du Soleil.**—Nous avons déjà vu qu'en vertu du mouvement de rotation de la Terre, la sphère céleste paraît tourner autour de l'axe du monde dans l'intervalle de 24 heures. Le Soleil, comme les étoiles, obéit à ce mouvement diurne, et on le voit se lever tous les matins à l'orient et se coucher tous les soirs à l'occident. Mais il est facile de s'apercevoir qu'il se déplace parmi les autres astres ; s'il passe, par exemple, au méridien en même temps qu'une étoile déterminée, il sera en retard, le lendemain, d'environ 4 minutes sur la même étoile. Les étoiles qui l'accompagnent à son coucher changent d'un jour à l'autre, de même qu'il ne se lève ni ne se couche, dans le cours d'une année, aux mêmes points de l'horizon, de sorte que la position et l'amplitude des arcs qu'il décrit au-dessus de l'horizon varient constamment, ainsi que la hauteur qu'il atteint chaque jour à son passage au méridien.

Tous ces faits prouvent que le Soleil est animé d'un *mouvement propre* parmi les étoiles, lequel s'effectue en sens contraire du mouvement diurne, c'est-à-dire dans le *sens direct*, d'occident en orient ; le Soleil

paraît tourner autour de la Terre dans une période de temps appelée *année*.

71. **Variations de l'ascension droite et de la déclinaison du Soleil.** — Pour étudier de plus près le mouvement propre du Soleil, il suffit de mesurer chaque jour son *ascension droite* et sa *déclinaison*. On constate alors que l'*ascension droite* varie depuis 0° jusqu'à 360°, à raison d'un peu moins d'un degré par jour, et d'une manière non uniforme.

Quant à la *déclinaison*, elle est nulle vers le 21 mars, et le Soleil est alors dans le plan de l'équateur céleste ; à partir de ce moment, elle devient boréale et augmente progressivement jusqu'à vers le 21 ou le 22 juin où elle atteint son maximum qui est de 23°27' Du 21 juin au 22 ou 23 septembre, la déclinaison diminue, et, à cette dernière époque, elle est redevenue nulle : le Soleil est de nouveau dans le plan de l'équateur.

Puis le Soleil passe dans l'hémisphère austral, et sa déclinaison australe augmente jusqu'à 23°27', vers le 22 décembre, et diminue ensuite jusqu'à 0°, vers le 21 mars, époque où le Soleil franchit de nouveau l'équateur pour passer dans l'hémisphère boréal.

72. **Ecliptique. — Obliquité de l'écliptique.** — Marquons sur un globe les positions qu'occupe le Soleil tous les jours de l'année, d'après les valeurs successives de son ascension droite et de sa déclinaison, et joignons toutes ces positions par un trait continu : on constate que ce trait est un grand cercle SS' de la sphère céleste qu'on appelle l'*écliptique* (fig. 29). Le plan de ce grand cercle fait avec le plan de l'équateur un angle d'environ 23° 27', que l'on désigne sous le nom *d'obliquité de l'écliptique.* — L'on voit que le Soleil, en décrivant l'écliptique, reste six mois au nord de l'équateur, du 21 mars au 22 septembre, et six

mois dans l'hémisphère austral, du 22 septembre au 21 mars suivant.

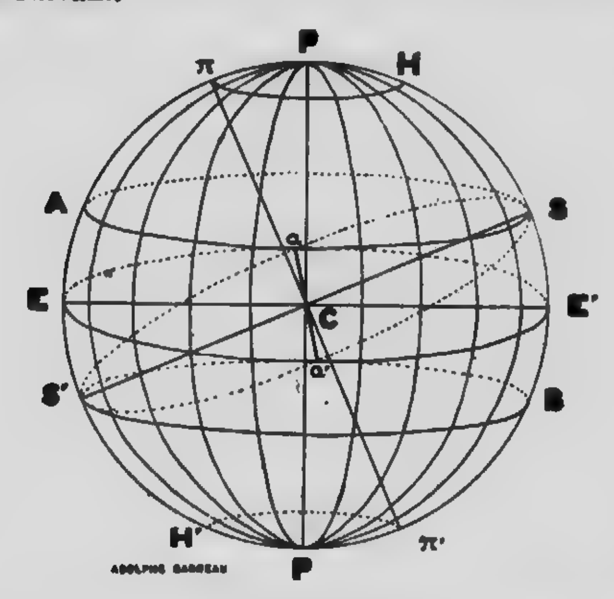


Fig. 29.—Ecliptique.

73. **Equinoxes.—Point vernal.**—La ligne *aa'*, intersection du plan de l'écliptique avec le plan de l'équateur, s'appelle *ligne des équinoxes.* L'extrémité *a'* de cette ligne, point de l'équateur où passe le Soleil de l'hémisphère austral dans l'hémisphère boréal, est l'*équinoxe du printemps* ou *point vernal ;* l'autre extrémité *a*, où passe le Soleil, le 22 septembre, de l'hémisphère boréal dans l'hémisphère austral, est l'*équinoxe d'automne.* Ce nom d'équinoxes vient du fait que, pour toute la Terre, le jour est égal à la nuit, lorsque le Soleil occupe l'un ou l'autre de ces deux points. —Le *point vernal* ou *équinoxe du printemps*, comme nous l'avons déjà dit, est l'origine des ascensions droites, et son passage au méridien indique le commencement du jour sidéral.

74. **Solstices.**—Les deux points S et S', situés

aux extrémités du diamètre mené perpendiculairement à la ligne des équinoxes, s'appellent les *solstices* (sol stat), parce qu'en ces points, le mouvement du Soleil en déclinaison étant très lent, l'astre du jour paraît s'arrêter. Le point S, où se trouve le Soleil le 21 ou 22 juin, est le *solstice d'été*, et le point S', où il se trouve le 21 ou 22 décembre, est le *solstice d'hiver*. La ligne SS' s'appelle la *ligne des solstices ;* cette ligne, avec celle des équinoxes, divise la courbe solaire en quatre parties qui sont les quatre saisons astronomiques de l'année.—Aux deux solstices, le Soleil se trouve à sa plus grande distance de l'équateur, sa déclinaison boréale et australe étant de 23°27'.

75. **Axe et pôles de l'écliptique.**—La droite perpendiculaire au plan de l'écliptique et passant par le centre de la sphère céleste s'appelle *axe de l'écliptique ;* cet axe perce la sphère en deux points opposés qu'on appelle *pôles de l'écliptique* ; l'un, π, (fig. 29) est le pôle *boréal*, l'autre, π', le pôle *austral*. Il est évident que l'axe du monde et l'axe de l'écliptique font entre eux le même angle que celui qui mesure l'obliquité de l'écliptique, c'est-à-dire 23°27'.

76. **Tropiques et cercles polaires.**—On appelle *tropiques* les parallèles qui passent par les solstices ; le *tropique du Cancer* SA passe par le solstice d'été et le *tropique du Capricorne* S'B par le solstice d'hiver ; ces deux parallèles sont donc à 23°27' de l'équateur.

Les *cercles polaires* sont les parallèles qui passent par les pôles de l'écliptique ; l'un, dans l'hémisphère nord, s'appelle le *cercle polaire arctique*, l'autre, dans l'hémisphère sud, est le *cercle polaire antarctique*.

Les tropiques et les cercles polaires terrestres, qui divisent la Terre en 5 zones, ne sont que les projections des tropiques et des cercles polaires célestes.

Remarque.— Les apparences que l'on constate chaque jour dans le déplacement du Soleil résultent de la com-

binaison de son mouvement annuel sur l'écliptique et de son mouvement diurne avec les autres astres de la sphère céleste. A l'équinoxe du printemps, le Soleil paraît décrire l'équateur, puis, à mesure qu'il s'avance sur l'écliptique, il trace des parallèles de plus en plus éloignés, jusqu'à ce que, au solstice d'été, il se meuve, dans l'intervalle d'un jour, suivant le tropique du Cancer; au solstice d'hiver, il suit le tropique du Capricorne. A cause de son mouvement propre sur l'écliptique, le Soleil ne décrit pas des courbes parallèles à l'équateur, mais obliques par rapport à ce plan; c'est un mouvement hélicoïdal, comme les filets d'une vis, d'un tropique à l'autre.

Il est bon d'ajouter, aussi, que l'écliptique, qui nous paraît circulaire parce qu'il est la perspective de la courbe véritable sur la sphère céleste, est en réalité une ellipse, comme nous le verrons plus loin.

77. **Zodiaque.**—Le Soleil, dans son mouvement annuel apparent, passe devant douze constellations, appelées *constellations zodiacales* ; on donne le nom de *zodiaque* à une zone de la sphère céleste s'étendant, de chaque côté de l'écliptique, de 8° à 9°. Cette bande circulaire a été divisée par les anciens en 12 parties qui correspondaient autrefois aux 12 constellations zodiacales et qui portaient les mêmes noms ; on les a appelées *signes du zodiaque.*

Voici les noms des signes du zodiaque :

Aries, le Bélier. Taurus, le Taureau. Gemini, les Gémeaux.	Printemps.
Cancer, l'Ecrivisse. Leo, le Lion. Virgo, la Vierge.	Été.

Libra, la Balance. Scorpius, le Scorpion. Arcitenens, le Sagittaire.	Automne.
Caper, le Capricorne. Amphora, le Verseau. Pisces, les Poissons.	Hiver.

On les réunit dans ces deux vers latins :

Sunt Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo,
Libraque, Scorpius, Arcitenens, Caper, Amphora, Pisces.

Les signes du zodiaque ont chacun 30 degrés d'amplitude et le Soleil les traverse successivement dans son mouvement annuel sur l'écliptique. Le printemps commence au moment où il entre dans le signe du Bélier.

Nous expliquerons plus loin pourquoi il n'y a plus maintenant coïncidence entre les signes du zodiaque et les constellations de mêmes noms, comme cela avait lieu autrefois. Il y a un retard de près d'un signe, et, au printemps, le Soleil est dans la constellation des Poissons.

78. **Coordonnées écliptiques.**—On appelle *coordonnées écliptiques* deux angles par lesquels on rapporte la position des astres, non plus au plan de l'équateur, mais au plan de l'écliptique : ce sont la *latitude* et la *longitude célestes*, qu'il ne faut pas confondre avec les coordonnées géographiques de mêmes noms.

79. **Latitude céleste.**—La *latitude céleste* est la distance d'un astre à l'écliptique ; elle se compte de 0° à ± 90° vers les pôles nord ou sud de l'écliptique, et sur les cercles passant par l'axe de l'écliptique, que l'on appelle *cercles de l'écliptique*, ou *cercles de latitude*.

80. **Longitude céleste.**—La *longitude céleste* d'un

astre est l'arc de l'écliptique compris entre le cercle de latitude de cet astre et le cercle de latitude qui passe par le point vernal.—La longitude céleste se compte dans le sens direct de 0°, à partir du point vernal, jusqu'à 360°.

REMARQUE.—On voit que la latitude céleste du Soleil est toujours nulle, puisque c'est le centre de cet astre qui décrit l'écliptique ; sa longitude, au contraire, varie de 0°, au point vernal, jusqu'à 360°, au bout d'une année astronomique.

81. **Le mouvement du Soleil n'est pas uniforme.**—Des mesures précises ont fait voir que la vitesse angulaire du Soleil, dans le cours d'une année, n'est pas constante, en d'autres termes, que le mouvement du Soleil en longitude varie d'un jour à l'autre. La vitesse angulaire est maximum vers le 1er janvier où elle atteint 1° 1' 10" environ par jour ; elle décroît ensuite jusqu'à un minimum de 57' 11" vers le 1er juillet, et elle reprend sa marche ascendante jusqu'à un nouveau maximum au mois de janvier suivant. Le mouvement du Soleil en longitude n'est donc pas uniforme.

82. **La distance du Soleil à la Terre varie constamment.**—Si le Soleil était toujours à la même distance de la Terre, son diamètre apparent serait constant. On sait que le diamètre apparent d'un astre est l'angle sous-tendu par son diamètre réel, et que les diamètres apparents d'un astre sont en raison inverse de ses distances à la Terre. Or, la grandeur apparente du Soleil varie constamment pendant le cours d'une année ; au 1er janvier, le diamètre apparent du Soleil est de 32'35",6, et il n'est plus que de 31'31" au 1er juillet. Donc il faut en conclure que l'orbite solaire n'est pas une circonférence, puisque tous les points d'une circonférence sont à égale distance de son centre.

83. **L'orbite solaire est une ellipse.**—Pour trou-

ver la forme réelle de l'orbite que le Soleil paraît décrire autour de la Terre, il suffit de placer, sur un papier, le Soleil en des points déterminés par ses vitesses angulaires aux différentes époques de l'année, et de représenter ses distances à la Terre par des longueurs *inversement proportionnelles aux diamètres apparents* en ces points, ou *proportionnelles aux distances.* Le trait continu qui passera par les extrémités de ces longueurs représentera l'orbite solaire, et l'on reconnaît qu'elle est une ellipse dont la Terre occupe l'un des foyers (fig. 30).

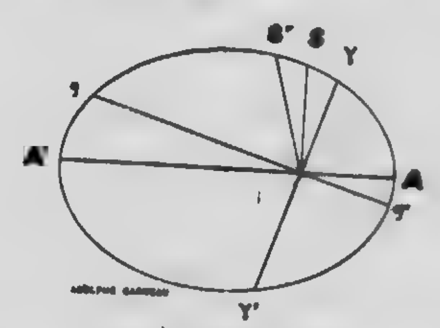


Fig. 30.—Orbite solaire.

Une ellipse peut être plus ou moins aplatie ou s'éloigner plus ou moins de la forme circulaire. Pour fixer la forme de la courbe, il faut connaître ce qu'on appelle son *excentricité.* On appelle *excentricité* d'une ellipse le rapport entre la distance d'un foyer au centre de l'ellipse et le demi-grand axe ; pour l'ellipse solaire, ce rapport est d'environ 1/60, ce qui veut dire que, le demi-grand axe étant divisé en 60 parties, la distance du foyer au centre de l'ellipse est l'une de ces parties.

84. **Ligne des apsides. Périgée et apogée, etc.** —Le grand axe AA' (fig. 30) de l'ellipse solaire s'appelle la *ligne des apsides.* On donne le nom de *périgée* (du grec, près de la Terre) à l'extrémité A la plus rapprochée de la Terre, et d'*apogée* (loin de

la Terre) à l'extrémité A' la plus éloignée. Nous démontrerons plus loin que le mouvement du Soleil n'est qu'apparent et que c'est la Terre qui, en réalité, décrit la courbe elliptique annuelle autour du Soleil. En A, la Terre, à son minimum de distance du Soleil, est à son *périhélie* (près du Soleil), et en A' à son *aphélie* (loin du Soleil).—La droite $\gamma\gamma'$ est la *ligne des équinoxes*, le point γ étant l'*équinoxe du printemps*, et γ' *l'équinoxe d'automne ;* la droite gg', perpendiculaire sur la première, est la *ligne des solstices*, g' étant le solstice d'hiver et g le solstice d'été.—L'on voit que la ligne des solstices ne coïncide pas avec la ligne des apsides ; elle fait avec celle-ci un angle d'environ 10°. Le Soleil est donc plus près de la Terre en hiver qu'en été.

85. **Principe des aires.**—On sait que les lignes A T, γ T, S T, etc., menées de la Terre au Soleil dans la suite des positions de cet astre sur son orbite elliptique, sont appelées *rayons vecteurs* du Soleil. L'on voit alors que le rayon vecteur A T, dans le déplacement du Soleil de A à γ, décrit une aire ou surface A T γ, de même que le rayon T γ, après le déplacement de γ à S, a décrit l'aire γ T S, et ainsi de suite pour les autres positions. Képler a démontré que toutes les aires, décrites par le rayon vecteur du Soleil pendant des *temps égaux, sont égales entre elles.* Ce résultat est désigné sous le nom de *principe des aires*, que l'on énonce de la manière suivante :

Les aires décrites par le rayon vecteur du Soleil en des temps égaux sont égales entre elles, ou bien,

Les aires décrites par le rayon vecteur du Soleil sont proportionnelles aux temps employés à les décrire.

86. **Conséquence du principe des aires.**—Nous avons vu plus haut (81) que le mouvement du Soleil sur l'écliptique n'est pas uniforme ; cette particularité

est une conséquence du principe des aires, et il est facile de s'en rendre compte.

Comme Képler l'a découvert, l'aire ATγ et l'aire TA'g, décrites en deux points opposés de l'orbite solaire, sont égales, malgré la différence de longueur des rayons vecteurs qui les limitent. Il en résulte nécessairement que l'angle gTA' est plus petit que l'angle γTA, et que, par suite, la vitesse angulaire du Soleil est plus faible à l'apogée qu'au périgée (fig. 30).

On a prouvé que les vitesses angulaires du Soleil, aux différents points de son orbite, sont inversement proportionnelles aux carrés de ses distances à la Terre. Le Soleil va d'autant plus vite qu'il est plus près de la Terre, comme en hiver, et d'autant plus lentement qu'il en est plus éloigné, comme en été.

CHAPITRE II

MESURE DU TEMPS

87. **Différentes unités de temps.**—Le temps se mesure en *jours*, pour les courtes périodes, et en *années*, pour les périodes plus longues. Les différentes sortes de jours et d'années que l'on distingue en Astronomie sont déterminées par le mouvement diurne de la sphère céleste, et le double mouvement, diurne et annuel, du Soleil. Nous allons étudier successivement les unités employées par les astronomes et pour les besoins et la commodité de la vie civile.

88. **Jour sidéral.**—C'est l'intervalle de temps qui s'écoule entre deux passages consécutifs d'une étoile au méridien. C'est, en réalité, le temps d'une rotation complète de la Terre sur elle-même, et, comme le mouvement de la Terre est parfaitement uniforme, le jour sidéral est invariable et convient le mieux à la mesure

du temps. Mais il ne peut servir pour les usages de la vie civile, parce qu'il commence successivement à toutes les heures du jour solaire.

89. **Jour solaire.**—On appelle *jour solaire* l'intervalle de temps qui s'écoule entre deux passages consécutifs du Soleil au même méridien. Comme le jour sidéral, il est divisé en 24 heures, chaque heure en 60 minutes et chaque minute en 60 secondes.

90. **Le jour solaire est plus grand que le jour sidéral.**—Ce phénomène s'explique par le mouvement propre du Soleil sur l'écliptique. Si, en effet, le Soleil était immobile sur la sphère céleste, il aurait le même mouvement diurne que les étoiles et le jour solaire serait égal au jour sidéral. Mais il n'en est pas ainsi ; le Soleil se déplace sur l'écliptique dans le sens direct, c'est-à-dire en sens contraire du mouvement des étoiles, et si on suppose qu'il passe au méridien en même temps qu'une étoile donnée, il sera le lendemain environ de 4 minutes en retard sur la même étoile au nouveau passage au méridien. La sphère céleste devra donc tourner d'un peu plus d'un tour complet pour que le Soleil repasse au méridien, et le jour solaire sera, par suite, de 4 minutes plus long que le jour sidéral.

91. **Nombres des jours sidéraux et des jours solaires de l'année tropique.**—Nous venons de voir que l'excès du jour solaire sur le jour sidéral est dû au mouvement propre du Soleil sur l'écliptique, ou, si l'on veut, au déplacement de la Terre sur son orbite annuelle, à raison d'environ 1° par jour, et que le retard du passage du Soleil au méridien, par rapport à une étoile donnée, se mesure précisément par l'arc dont la Terre se déplace dans l'intervalle d'un jour. Mais de nouveaux retards auront lieu les jours suivants, de sorte que, au bout d'une année, la Terre ayant décrit 360°, le retard sera d'un tour complet, c'est-à-dire d'un jour ; la Terre aura tourné 366¼ fois sur elle-même, et la

Soleil n'aura passé au méridien que 365 fois ; il y aura donc un jour solaire de moins qu'il y a de jours sidéraux.

92. **Inégalité des jours solaires.**—Si l'on définit les jours solaires par l'intervalle du temps qui s'écoule entre deux passages consécutifs du Soleil au même méridien, on constate qu'ils sont *inégaux en durée*.

Cette inégalité tient à deux causes : 1° à la non-uniformité du mouvement du Soleil, d'après le principe des aires ; 2° à l'obliquité de l'écliptique.

L'on sait que la vitesse du Soleil, dans son mouvement annuel apparent sur l'écliptique, n'est pas toujours constante, mais qu'elle est maximum au périgée et minimum à l'apogée ; l'on sait, de plus, que l'excès du jour solaire sur le jour sidéral est dû au déplacement journalier du Soleil sur son orbite. Cet excès est donc variable suivant l'époque de l'année, puisque le déplacement angulaire du Soleil n'est pas toujours le même. Il en résulte que les jours solaires ne sont pas égaux entre eux, mais sont de longueurs variables suivant les positions relatives de la Terre et du Soleil.

En supposant même que le mouvement du Soleil serait uniforme, il y aurait encore inégalité dans les jours solaires d'une même année, parce que, à cause de l'obliquité de l'écliptique, l'orbite du Soleil n'est pas décrite parallèlement à l'équateur, sur lequel se mesurent les ascensions droites. Aux environs des solstices, la projection d'un arc sur l'équateur est plus grande que celle d'un arc de même grandeur décrit dans le voisinage des équinoxes.

Il est donc évident, par ces deux causes réunies, que les jours solaires sont inégaux entre eux.

93. **Jour solaire moyen.—Temps moyen.**—Malgré les variations du jour solaire, variations qui sembleraient le rendre impropre à servir d'unité de mesure, il est impossible, tout de même, pour les besoins de la vie civile, de ne pas mesurer le temps d'après le mouve-

ment du Soleil. C'est lui, en effet, qui produit le phénomène de la succession des jours et des nuits, c'est son mouvement annuel apparent qui ramène dans le même ordre les saisons et les phénomènes calorifiques et atmosphériques qui en découlent.

Pour obtenir, en se basant sur le mouvement du Soleil, une unité qui serait toujours égale à elle-même, les astronomes ont imaginé le *jour solaire moyen* et le *temps moyen.*

Ils ont supposé, 1° un *premier Soleil fictif* qui parcourrait l'*écliptique*, d'un *mouvement uniforme*, dans le même temps qu'emploie le Soleil vrai à décrire la même courbe, et qui passerait en même temps que ce dernier aux points de l'orbite où la vitesse est maximum et minimum, c'est-à-dire au périgée et à l'apogée. Cette supposition fait disparaître la première cause d'inégalité des jours solaires, c'est-à-dire la non-uniformité du mouvement du Soleil sur l'écliptique.

Ils ont supposé, 2° un *deuxième Soleil fictif* qui parcourrait, d'un *mouvement uniforme*, l'*équateur* dans le même temps employé par le Soleil vrai à décrire l'écliptique, et dont la vitesse serait celle du premier Soleil fictif. La position du second Soleil fictif est déterminée par le fait que les deux Soleils fictifs, partant en même temps du point vernal, coïncident aux deux points équinoxiaux. Cette deuxième supposition fait disparaître la deuxième cause d'inégalité des jours solaires, à savoir l'obliquité de l'écliptique.

C'est ce deuxième Soleil fictif, se mouvant sur l'équateur, que l'on appelle le *Soleil moyen.* Comme son mouvement est uniforme, il passera au méridien après des intervalles de temps égaux; ce sont chacun de ces intervalles que l'on désigne sous le nom de *jour solaire moyen*, et la succession de ces jours constitue le *temps moyen.*

On divise le jour solaire moyen en 24 heures moyennes, l'heure en 60 minutes et la minute en 60 secondes,

et ces unités de temps sont un peu plus longues que les unités de mêmes noms du temps sidéral. Le jour solaire moyen n'est rien autre chose qu'une durée moyenne entre les jours solaires vrais inégaux de l'année.

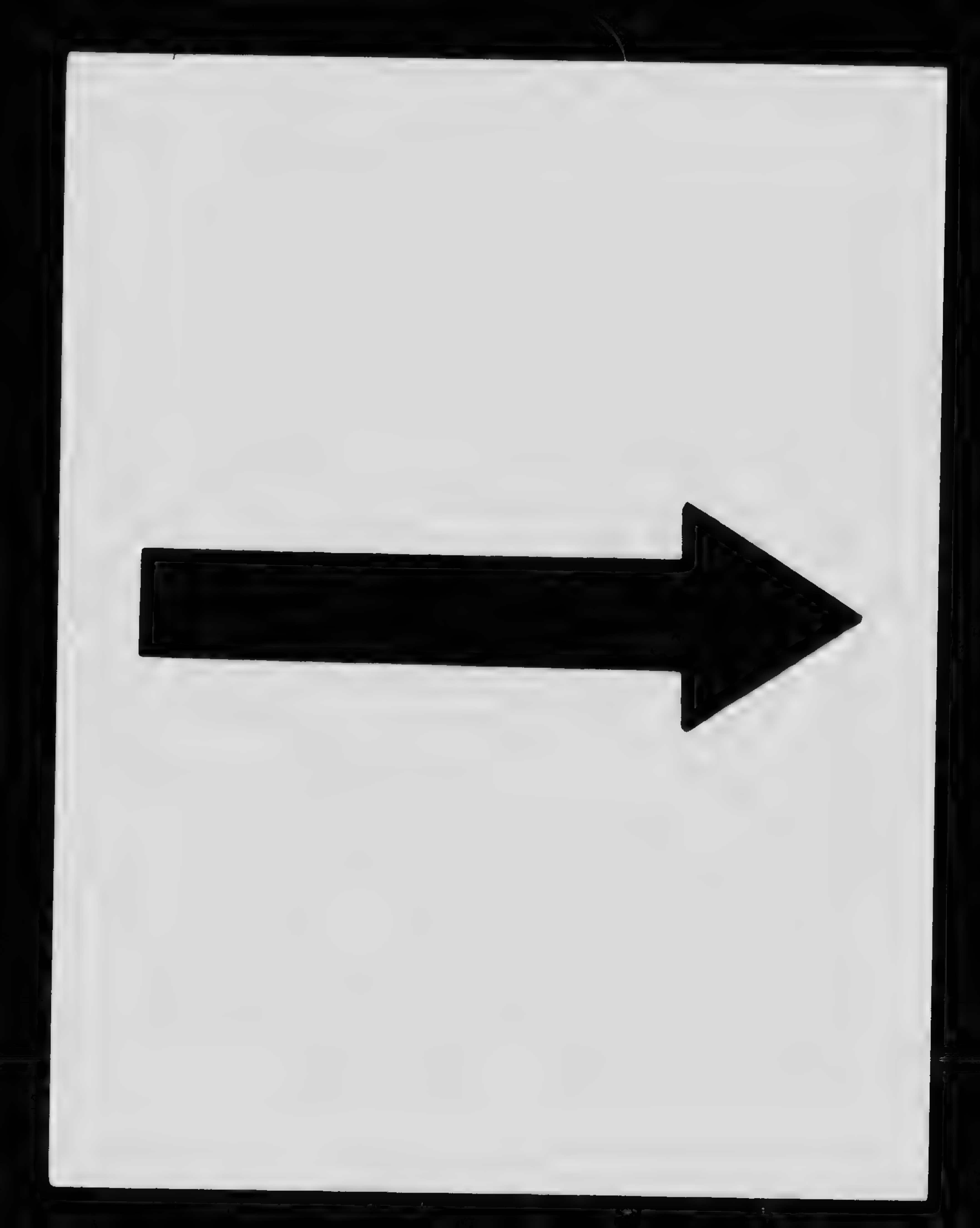
Le passage au méridien du Soleil vrai détermine le *midi vrai*, et il est *midi moyen* lorsque le Soleil moyen passe au méridien. Le jour solaire moyen commence à midi moyen, et va de 0h. à 24h. : c'est le temps moyen *astronomique*. Le jour *civil* commence 12 heures plus tôt, à minuit, et se compte de 0h. à 12h. du matin, et de 0h. à 12h. du soir.

Quant aux longueurs relatives du jour solaire moyen et du jour sidéral, on trouve, par un calcul très simple, que le jour sidéral, en temps moyen, est de 23h. 56m. 4s. ; c'est donc, en heures solaires moyennes, la durée de la rotation de la Terre sur elle-même.

94. **Equation du temps.**—On appelle *équation du temps* la différence entre le temps moyen et le temps vrai, à un même instant. Suivant que le Soleil vrai passe au méridien avant ou après le Soleil moyen, l'équation du temps est *négative* ou *positive ;* dans le premier cas, on obtient le midi moyen en retranchant du midi vrai la valeur de l'équation du temps ; dans l'autre cas, on l'ajoute.

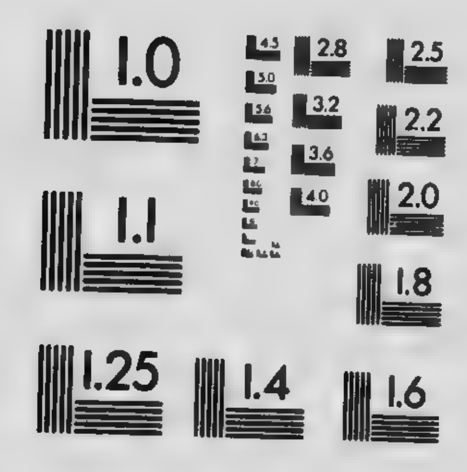
On trouve dans les éphémérides scientifiques, comme la *Connaissance des Temps* ou le *Nautical Almanach*, l'équation du temps pour tous les jours de l'année ; elle varie peu d'un jour à l'autre, et sa variation est sensiblement la même pour les différentes années.

Quatre fois par année, l'équation du temps est nulle, c'est-à-dire que le temps vrai coïncide avec le temps moyen. En 1913, cette coïncidence a lieu le 16 avril, le 14 juin, le 1er septembre et le 25 décembre ; le plus grand écart a lieu le 3 novembre, où la valeur négative de l'équation du temps atteint $16^m\ 21^s$; le 11 février,



MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART

(ANSI and ISO TEST CHART No. 2)





la valeur positive est de $14^m 26^s$, de sorte qu'à cette date une horloge bien réglée devrait marquer, à l'instant du midi vrai, 12^h, 14^m, 26^s. Au premier janvier, pour cette même année, l'équation du temps est 3^m, 33^s, et $-3^m 48^s$ le 15 mai.

Lorsque l'on fait finir le matin et commencer l'après-midi à midi moyen, le jour paraît plus long ou plus court l'après-midi que le matin, selon que l'équation du temps est positive ou négative. Le midi vrai seul sépare la journée en deux parties égales; c'est vers le 2 novembre que les intervalles de temps, compris entre le lever du Soleil et midi moyen, d'une part, et entre ce même midi et le coucher du Soleil, d'autre part, diffèrent le plus. La différence la plus grande de l'année atteint 33 minutes.

Avant 1816, on réglait les horloges et les montres sur le midi vrai, et il était nécessaire d'effectuer de fréquentes corrections, puisque, le mouvement du Soleil n'étant pas uniforme, elles devaient toujours être en avance ou en retard sur ce dernier, suivant l'époque de l'année.

Depuis 1816, les horloges publiques indiquent le temps moyen, et la valeur connue de l'équation du temps, à chaque jour de l'année, permet de les régler sur le mouvement du Soleil.

Remarque.—L'heure vraie est donnée par les *cadrans solaires* au moyen de l'ombre porté par un *style* parallèle à l'axe du monde.

Dans le *cadran équatorial*, le plan sur lequel sont tracées les heures est installé perpendiculairement au style, par suite parallèlement à l'*équateur céleste*; toutes les lignes, partant du pied du style et joignant celui-ci aux chiffres qui indiquent les heures, font entre elles des angles de 15°, de part et d'autre de la méridienne.

Dans le cadran *horizontal* et le cadran *vertical*, les angles formés par les lignes d'ombres marquant les

heures ne sont pas égaux entre eux, parce que le style est oblique par rapport à ces plans. On peut tracer les lignes d'ombre avec une bonne montre, pourvu que l'opération se fasse aux jours de l'année où l'équation du temps est nulle. Il faudrait tenir compte de celle-ci aux autres époques de l'année.

L'orientation du style suivant l'axe du monde est une opération délicate. Elle exige le tracé de la méridienne au moyen, par exemple, de la méthode des ombres égales (21, remarque) ; puis, l'installation du style peut se faire en plaçant un cadre triangulaire, dont un angle est égal à la latitude du lieu, sur le plan horizontal et dans le plan du méridien. La direction de l'hypothénuse de ce triangle rectangle indique la position du style.

Un cadran vertical, placé sur un mur orienté perpendiculairement à la méridienne, est un *cadran vertical méridional* ; on l'appelle *cadran vertical déclinant* si le mur est construit dans toute autre position par rapport à la méridienne.

95. **Différentes espèces d'années.**—Le mouvement annuel apparent du Soleil autour de la Terre détermine une période importante qu'on appelle l'*année*. On en distingue plusieurs espèces suivant les points qui servent d'origine.

L'*année sidérale* est l'intervalle de temps qui s'écoule entre deux retours consécutifs du Soleil *à la même étoile* ; sa valeur, en temps moyen, est de 365 j. 6 h. 9 m. 9 s., 5.

L'*année tropique*, base de l'année civile, est l'intervalle de temps qui s'écoule entre deux retours consécutifs du Soleil à l'équinoxe du printemps ; elle vaut, en jours solaires moyens, 365j. 5 h. 48 m. 45 s., 98, et elle est, par suite, plus courte que l'année sidérale.

La raison de cette différence, c'est que le point vernal, origine de l'année tropique, se déplace parmi les étoiles ;

la ligne des équinoxes rétrograde de 50", 2 par année, de sorte que le Soleil revient à l'équinoxe du printemps avant d'avoir accompli une révolution complète, tandis que l'orbite décrite est entière lorsque l'astre radieux est revenu au point du ciel avec lequel il coïncidait à l'origine de l'année sidérale.

96. **Année civile.**—Il est nécessaire que la mesure vulgaire du temps soit basée sur la marche du Soleil ; c'est lui, en effet, qui, par son mouvement périodique autour de la Terre, produit la série sans cesse renouvelée des phénomènes astronomiques et calorifiques, tels que l'inégalité des jours et des nuits, le retour des saisons et la répartition inégale de la température aux différents points de sa trajectoire, phénomènes qui ont tant d'influence sur la vie sociale et civile.

Toutefois, l'année tropique, parce qu'elle ne contient pas un nombre exact de jours, ne pouvait servir à la mesure du temps. Il a fallu lui substituer l'*année civile*, basée évidemment sur la durée de l'année astronomique, mais qui devait se composer d'un nombre entier de jours sans fraction, et servirait à fixer la date des événements et à régler les travaux de l'agriculture. Les conventions nécessaires pour faire coïncider cette année civile avec l'année tropique, pour établir les relations entre les divisions et subdivisions du temps civil et les phénomènes usuels qui dépendent de la marche du Soleil, constituent le but du *calendrier*.

CHAPITRE III

LE CALENDRIER

97. **Calendrier.**—On appelle *calendrier* un catalogue ou un ensemble de tables dans lesquelles sont inscrites les divisions et les subdivisions de l'année

civile, afin de la faire accorder le mieux possible avec l'année tropique ou astronomique.

98. **Calendrier romain.—Calendrier de Romulus.**—Dans le calendrier attribué à *Romulus*, suivant l'opinion générale, l'année, commençant avec le mois de mars, se composait de 304 jours distribués en 10 mois de la manière suivante :

Année de Romulus.

Mois.	Durée.	Mois.	Durée.
1. Martius	31 jours	6. Sextilis	30 jours
2. Aprilis	30 "	7. September	30 "
3. Maius	31 "	8. October	31 "
4. Junius	30 "	9. November	30 "
5. Quintilis	31 "	10. December	30 "

Comme l'année était trop courte, on était obligé d'insérer un certain nombre de jours r rameuer le commencement de l'année vers l'équinox du printemps.

99. **Calendrier de Numa.**—Numa, comme on le croit généralement, réforma le calendrier romain en portant la durée de l'année de 304 à 355 jours. On forma deux nouveaux mois avec les 51 jours ajoutés, joints à un jour que l'on prit à chacun des six mois de 30 jours de l'année de Romulus ; l'un de ces mois, appelé Januarius, de 29 jours, fut placé avant le mois de Martius, et l'autre, nommé Februarius, de 28 jours, fut rejeté après December, et l'on fit commencer l'année au mois de Januarius.

Pl tard, en l'an 450 avant J.-C., Februarius fut plac ès Januarius par les Décemvirs. Le calendrier, jusq la réforme de Jules César, avait donc cette disposition :

Calendrier de Numa après les Décemvirs.

Mois.	Durée.	Mois.	Durée.
1. Januarius	29 jours	7. Quintilis	31 jours
2. Februarius	23 "	8. Sextilis	29 "
3. Martius	31 "	9. September	29 "
4. Aprilis	29 "	10. October	31 "
5. Maius	31 "	11. November	29 "
6. Junius 29	29 "	12. December	29 "

L'année de Numa, de 355 jours, retardait de plus de 10 jours sur l'année solaire. Pour maintenir l'accord avec les saisons, on plaça, de deux ans en deux ans, un mois *intercalaire*, appelé *merkedonius*, alternativement de 22 et 23 jours. Mais on s'aperçut bientôt que l'intercalation continue du merkedonius donnait 24 jours de trop au bout de 24 ans, et il fut résolu de supprimer le merkedonius de 23 jours qui aurait dû être intercalé toutes les 24es années, et de donner seulement 22 jours au mois intercalaire de la 20e année.

Le soin de régulariser le calendrier était confié aux Pontifes, lesquels donnaient au mois intercalaire la durée nécessaire pour rétablir l'accord avec les mouvements du Soleil, afin de conserver aux fêtes leurs places naturelles dans le calendrier.

Soit par négligence des Pontifes ou pour toute autre cause, le désordre ne tarda pas à s'introduire dans le calendrier, et les années romaines ne coïncidèrent plus avec les phénomènes célestes. Vers l'époque de Jules César, il arriva que, par suite du déplacement des époques des fêtes, on célébrait les fêtes de la moisson en hiver et les automnales au printemps.

100. **Réforme julienne.**—Jules César, aidé de l'astronome égyptien Zozigène, résolut de corriger les défauts du calendrier romain.

Au lieu de l'année lunaire de 355 jours alors en

usage, il adopta l'année solaire dont la durée fut fixée à 365¼ jours. Comme il fallait éviter et, en même temps, tenir compte de cette fraction d'un quart de jour, il fut décidé qu'il y aurait 3 années *communes* de 365 jours, et, pour corriger l'erreur produite par l'accumulation de la fraction, erreur qui s'élevait à un jour entier au bout de quatre ans, que l'on ajouterait, toutes les quatre ans, un jour à l'année commune. Ce jour fut placé entre le 23 et le 24 février et ce mois eut, cette année, 29 jours au lieu de 28.

Le 23 février, suivant la manière de compter des Romains, était désigné par *Ante diem sextum Kalendas Martias* ; le 366ᵉ jour devint alors *Ante diem bis sextum Kalendas Martias*, et l'année de 366 jours fut nommée *annus bis sextus*, d'où est venu le nom d'année *bissextile*.

La nouvelle année surpassait l'ancienne de 10 jours. On les distribua de la manière suivante: on ajouta 2 jours aux mois de *Januarius*, *Sextilis* et *December*, et un jour à *Aprilis*, *Junius*, *September* et *November*, ce qui donne aux mois les nombres de jours qu'ils ont encore aujourd'hui ; l'on ne changea rien dans l'ordre des mois, et le 1ᵉʳ jour de janvier resta le commencement de l'année.

Marc Antoine ordonna que le mois de *Quintilis*, en l'honneur de Jules César, son prédécesseur au Consulat, s'appellerait *Julius*. Le calendrier en usage porta, à partir de cette époque, le nom de *Calendrier Julien*.

Plus tard, en l'an 746 de Rome, le mois *Sextilis*, sur un décret du Sénat, prit le nom d'*Augustus*, en l'honneur de César Auguste (1).

---

(1) Suivant quelques auteurs, Jules César aurait donné 31 jours à *Januarius*, *Martius*, *Maius*, *Quintilis*, *September* et *November*, 29 à *Februarius* et 30 aux autres.

A l'avènement d'Auguste, on aurait fait les changements suivants : le Sénat, pour honorer ce dernier, avait voulu

101. **Année de la confusion.**—A l'époque où fut adoptée la réforme julienne, le commencement de l'année romaine précédait de 67 jours son lieu véritable; pour corriger cette erreur, on intercala deux mois, respectivement de 33 et 34 jours, entre novembre et décembre. Si l'on ajoute à ces mois, le mois intercalaire de 23 jours que cette même année, d'après Suétone, devait recevoir, il arriva que cette dernière eut 15 mois contenant 445 jours; on l'appela l'*année de la confusion.*

La réforme julienne fut inaugurée l'an 709 de Rome ou l'an 45 avant J.-C.

102. **Divisions des mois chez les Romains.**—Chez les Romains, on divisait les mois en trois parties inégales, appelées les *calendes*, les *nones* et les *ides.* Les calendes commençaient le 1er jour de chaque mois, les nones et les ides, pour les mois de janvier, février, avril, juin, août, septembre, novembre et décembre, tombaient les 5e et 13e jour; pour les autres mois, les nones commençaient le 7e jour et les ides le 15e. Dans chacune de ces périodes, on comptait les jours en rétrogradant, et l'on plaçait devant leur numéro d'ordre les mots *ante diem*; c'est ainsi que le 20 février, étant le 10e jour avant les calendes de mars, s'exprimait par *ante diem dicimum kalendas martias.* Le jour qui précédait l'une quelconque des trois périodes était dési-

---

nommer *Augustus* le mois *September*, où il était né; Auguste préféra le mois de *Sextilis*, qui suivait celui de *Julius*.

Mais pour la gloire d'Auguste, le mois qui portait son nom ne devait pas avoir un nombre de jours moindre que *Julius*; on retrancha donc 1 jour de *Februarius*, qui resta à 28, pour mettre *Augustus* à 31 jours. Afin qu'il n'y eût pas 3 mois de suite de 31 jours, on retrancha 1 jour à *September*, qui resta à 30 et *October* augmenta à 31. De même on retira 1 jour à *November*, précédemment à 31 jours, pour donner 31 jours à *December*. (*Annuaire du Bureau des Longitudes*, 1912).

gné par *pridie*, par exemple, *pridie idibus martiis*, pour le 14 mars, dans lequel les ides commençaient le 15e jour.

On a gardé longtemps, après la chute de l'Empire Romain, cette division des mois, ainsi que la manière de désigner les jours; elles sont encore en usage dans certains livres ecclésiastiques, comme le Martyrologe.

De même aussi, les *Bulles* des Papes sont encore datées d'après les notations du calendrier romain. On se sert toutefois du calendrier actuel pour les autres actes pontificaux, tels que les *Brefs* et les *Rescrits*.

La réforme julienne fut adoptée par l'Eglise au concile de Nicée, en 325; on y prit certaines mesures qui constituent ce qu'on appelle maintenant le *vieux style*.

103. **Ere chrétienne ou vulgaire.**—A l'origine du christianisme, les fidèles suivaient les calendriers en usage chez les peuples au milieu desquels ils se trouvaient. Ce n'est qu'au commencement du VIe siècle après J.-C. qu'un prêtre scythe, nommé Denys-le-Petit, proposa de choisir l'année de l'Incarnation de N. S. J.-C. comme origine de l'*ère chrétienne*. Mais, dans l'usage ordinaire, on a fait commencer l'*ère vulgaire* au 1er janvier qui suivit immédiatement la naissance de N. S. J.-C., laquelle avait été fixée, par Denys-le-Petit, au 25 décembre de l'an 753 de Rome. Le commencement de l'ère vulgaire se trouve donc fixé au 1er janvier de l'an 754 de Rome.

On s'accorde à admettre que Denys-le-Petit s'est trompé dans ses calculs et que la naissance de Jésus-Christ doit être reculée de 4 années, de sorte qu'il faudrait ajouter 4 ans à toutes les dates chrétiennes.

104. **Réforme grégorienne ou nouveau style.**—La reforme julienne était insuffisante, parce que Sozigène, l'astronome de Jules César, avait donné à l'année tropique une valeur de 365 j., 25, durée qui surpasse de 11 minutes celle de l'année réelle, qui est de

365j., 24. Cet écart constitue une différence de trois jours environ en 400 ans.

Le commencement de l'année civile retardant sans cesse sur celui de l'année solaire, l'écart des deux années était de 10 jours à la fin du XVI[e] siècle.

Le pape Grégoire XIII, en 1582, résolut de réformer le calendrier et de corriger cette erreur de 10 jours accumulés depuis l'époque du concile de Nicée. Il commença par supprimer 10 jours à l'année 1582 et décréta que le lendemain du jeudi 4 octobre 1582 serait le vendredi 15 octobre.

Cette correction ne fut faite en France qu'au mois de décembre suivant, sur l'ordre du roi Henri III, et le dimanche 9 décembre 1582 eut pour lendemain le lundi 20 décembre.

Pour prévenir la même erreur à l'avenir, le pape dut retrancher 3 jours en quatre siècles, et décida que, sur quatre années séculaires, une seule aurait 366 jours. C'est ainsi que, des années séculaires 1600, 1700, 1800, 1900, la première seule a été bissextile.

Une année non séculaire est bissextile lorsque le millésime de l'année est divisible exactement par 4; les années séculaires sont bissextiles lorsque, après avoir retranché les deux zéros à droite, les chiffres qui restent à gauche sont divisibles sans reste par 4.

Cette réforme du calendrier, due au pape Grégoire XIII, porte le nom de *réforme grégorienne ou nouveau style*; elle est adoptée maintenant par toutes les nations chrétiennes, excepté par les Russes et les Grecs qui ont gardé le calendrier julien; aussi les dates du calendrier *vieux style* sont en retard sur les nôtres de 13 jours.

La réforme grégorienne fut adoptée en 1584 par l'Allemagne catholique, en 1600 par la Suisse, le Danemark et la Suède, et en 1752 par l'Angleterre.

105. **Origines des divisions de l'année civile.—**

L'année civile, chacun le sait, est divisé en 12 mois, placés dans le même ordre et avec les mêmes nombres de jours que dans le calendrier julien. Les mois de *septembre*, *octobre*, *novembre* et *décembre*, comme l'indiquent leurs noms, étaient, sous Romulus, les 7e, 8e, 9e et 10e mois, parce que l'année commençait en mars et n'avait que 10 mois. Depuis que l'année commence au 1er janvier et compte 12 mois, les noms de *septembre*, *octobre*, *novembre* et *décembre*, qui ont été conservés, n'indiquent plus le rang que ces mois occupent dans l'année.

L'origine de la division de l'année en 12 mois est dans le mouvement de la Lune autour de la Terre, mouvement qui comprend à peu près 12 lunaisons ou 12 révolutions de durée égale à 29½ j.

La *semaine* est une période de 7 jours que l'on retrouve dans les calendriers les plus anciens et dont l'idée remonte évidemment au récit mosaïque de la création du monde. Les noms des jours sont d'origine païenne, sauf celui du *dimanche* qui signifie *jour du Seigneur*. Il y a 52 semaines dans une année, avec un ou deux jours de plus, suivant que l'année est *commune* ou *bissextile*.

Le *jour* est une période déterminée par la rotation de la Terre sur elle-même, rotation qui fait se succéder sur notre globe la lumière et les ténèbres.

Le jour civil, comme nous le savons déjà, est le *jour solaire moyen*, divisé en 24 parties égales appelées *heures* ou en deux périodes de 12 heures d'un minuit à l'autre.

La durée comprise entre le lever et le coucher du Soleil, c'est-à-dire le jour proprement dit, était divisée, chez les Juifs et les Romains, en quatre parties égales appelées *prime*, *tierce*, *sexte* et *none*, dénominations encore employées par l'Eglise pour l'office divin.

106. **Calendrier républicain.**—Il n'est pas inu-

tile de connaître ce curieux calendrier, malgré sa durée éphémère (il n'a été en usage que pendant 13 ans, du 22 septembre 1792 au 1[er] janvier 1806), parce qu'il y a des événements historiques, v. g. le coup d'état du 18 *brumaire*, qui en portent encore les dates.

Dans le calendrier républicain français, l'année commençait à l'équinoxe d'automne et ce système fut inauguré le 22 septembre 1792, époque de la fondation de la république ; l'année se composait de 12 mois égaux de 30 jours chacun, avec 5 ou 6 jours complémentaires, appelés *sans-culottides*, suivant que l'année devait avoir 365 ou 366 jours.

Le mois était composé de 3 *décades* de 10 jours dont les noms étaient *primidi*, *duodi*, *tridi*, *quartidi*, *quintidi*, *sextidi*, *septidi*, *octidi*, *nonidi*, *décadi*. Les noms des mois, empruntés aux conditions atmosphériques et aux productions de la terre aux différentes époques de l'année, étaient, pour l'automne : *vendémiaire*, *brumaire*, *frimaire* ; pour l'hiver : *nivôse*, *pluviôse*, *ventôse* ; pour le printemps : *germinal*, *floréal*, *prairial* ; pour l'été : *messidor*, *thermidor*, *fructidor*.

CHAPITRE IV

MOUVEMENT DE TRANSLATION DE LA TERRE AUTOUR DU SOLEIL

107. **Identité des apparences.**— Nous savons que le Soleil paraît se déplacer parmi les étoiles et effectuer une révolution complète autour de la Terre dans l'intervalle d'une année. Il est facile de montrer que les apparences restent les mêmes si l'on suppose que c'est la Terre qui décrit l'écliptique et exécute un mouvement annuel de révolution suivant une orbite elliptique dont le Soleil occupe un des foyers.

Soit la Terre immobile au point T (fig. 31) et le Soleil au périgée en S, se projetant en un point E sur la voûte céleste. Lorsque le Soleil aura décrit l'arc SS' sur l'écliptique, il sera vu de la Terre dans la direction TS' et paraîtra se projeter en E'; il semblera donc s'être déplacé dans le ciel de E vers E'.

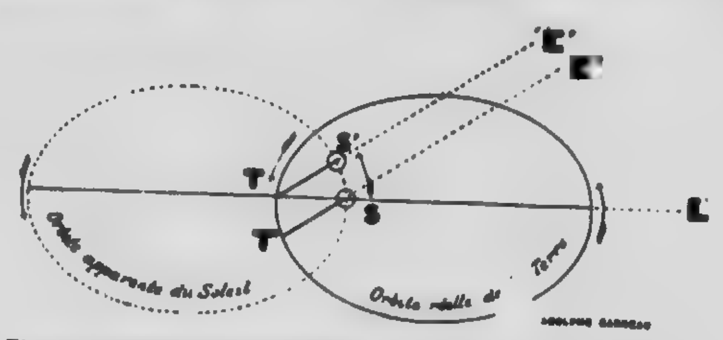


Fig. 31.—Orbite apparente du Soleil et orbite réelle de la Terre.

Admettons maintenant que le Soleil est fixe au foyer S de l'ellipse solaire et que la Terre se meut de T en T' dans le même temps que le Soleil a pris pour décrire l'arc SS', mais en sens inverse.

Le Soleil, vu de la Terre en T', paraîtra, dans la direction T'S, se projeter sur la sphère céleste en un point E', direction *rigoureusement parallèle* à TS'. Les apparences ne seront donc pas changées, et l'astre du jour aura toujours paru se déplacer de E vers E', comme dans la première hypothèse ; il en sera de même également pour tous les autres points de la trajectoire solaire.

Remarquons que les deux orbites, apparente et réelle, sont toutes deux tracées dans le même sens, comme l'indiquent les flèches ; ce sens est d'occident en orient, le même que celui de la rotation terrestre.

Dans l'hypothèse du mouvement réel de notre globe autour du Soleil, la Terre, au point T, est à son *périhélie*, et, à l'autre extrémité du grand axe, à son

aphélie. Sa vitesse variable (environ 30 k. par seconde), conformément au principe des aires, est maximum au 1er janvier, c'est-à-dire au périhélie, puis va en décroissant jusqu'au 1er juillet, dans la position la plus éloignée du Soleil, pour augmenter ensuite jusqu'au 1er janvier suivant.

Les deux hypothèses rendant également bien compte des apparences, il reste à choisir entre les deux ; nous allons exposer les preuves du mouvement réel de la Terre autour du Soleil.

108. **Preuves du mouvement de translation de la Terre.**—1° Il est naturel de penser que si deux corps doivent tourner l'un autour de l'autre, c'est le plus petit qui doit tourner autour du plus gros. Or, le Soleil, comme nous le verrons plus loin, est environ 1,300,000 fois plus gros que la Terre. Le mouvement annuel de la Terre autour du Soleil est donc beaucoup plus probable que celui du Soleil autour de la Terre.

D'ailleurs, d'après l'admirable théorie de la *gravitation universelle* que nous étudierons plus loin, l'attraction réciproque du Soleil et de la Terre fait que ces deux astres tournent autour de leur centre commun de gravité. Or, ce point, à cause de l'énorme masse du Soleil comparée à celle de la Terre, est très voisin du centre de l'astre radieux, de sorte que le Soleil étant pour ainsi dire immobile par rapport à la Terre, celle-ci doit nécessairement tourner autour de lui.

2° Il faut admettre qu'il y a unité et harmonie dans la Création. Or, comme nous savons que les planètes, avec lesquelles la Terre a une grande analogie, gravitent réellement autour du Soleil, ce serait compliquer inutilement le système du monde que d'admettre le mouvement de cet astre, puisqu'il devrait entraîner avec lui, en tournant autour de la Terre, tout son cortège de planètes.

Il ne faut pas oublier, comme nous le disions au

sujet de la rotation de la Terre, que les apparences que nous constatons sur notre globe seraient les mêmes pour tout observateur placé dans l'une quelconque des planètes ; il pourrait prouver que les autres, y compris la Terre, tournent réellement autour du Soleil et celui-ci paraîtrait décrire une courbe annuelle qui déterminerait l'année solaire. Il faudrait donc en conclure que chaque planète est le centre du système solaire, ce qui est absurde ; tout, au contraire, s'explique facilement si le Soleil est le centre des révolutions planétaires.

8° On trouve une démonstration rigoureuse du mouvement de translation de la Terre dans le phénomène de la *parallaxe annuelle* de certaines étoiles, sur lequel nous reviendrons plus loin.

Qu'il nous suffise de dire, pour le moment, que les étoiles les plus rapprochées de la Terre subissent des effets de perspective qui seraient inexplicables, si l'on n'admet pas le déplacement annuel de la Terre autour du Soleil. Ces étoiles, en effet, situées en dehors du plan de l'écliptique, semblent décrire, dans l'intervalle d'un an, des ellipses dont le grand axe est parallèle au plan de l'écliptique.

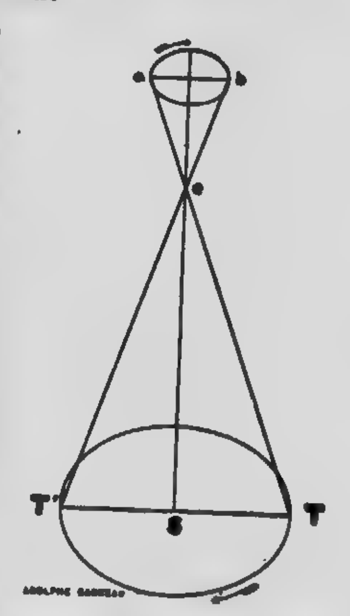


Fig. 32.—Parallaxe annuelle des étoiles.

Si du point T, où se trouve la Terre sur son orbite, on mène un rayon visuel vers une étoile *e*, celle-ci paraîtra se projeter en *a* sur la voûte céleste. Six mois plus tard, la Terre étant en T', la même étoile se projettera en *b*, et elle aura paru décrire, dans l'intervalle d'une année, une ellipse *a b*, en sens

inverse du mouvement de la Terre. C'est ce que l'observation et des mesures précises ont permis de constater pour plusieurs étoiles, et c'est ce qui ne peut se concilier avec l'immobilité de la Terre.

4° Le phénomène de l'*aberration de la lumière*, découvert par l'astronome anglais Bradley, constitue une démonstration mathématique du mouvement de translation de la Terre.

On appelle *aberration de la lumière* une déviation que semblent éprouver les rayons lumineux qui viennent des étoiles, déviation en vertu de laquelle celles-ci paraissent décrire annuellement, sur la voûte céleste et parallèlement au plan de l'orbite terreste, des ellipses dont le grand axe mesure 40",9, et dont les petits axes sont dirigés vers le pôle de l'écliptique.



Fig. 33.—Aberration de la lumière.

Ce mouvement annuel apparent de toutes les étoiles est dû au fait que l'œil de l'observateur, qui reçoit les rayons lumineux des étoiles, n'est pas fixe, mais se déplace avec une vitesse qui, combinée avec celle de la lumière, conformément aux règles de la composition des mouvements, produit la déviation dont nous venons de parler.

Soit un observateur sur la Terre, au point T (fig. 33), recevant la lumière d'une étoile E dans la direction ET. Cette direction ne subirait aucun changement si la Terre était immobile. Mais il n'en est pas de même si on suppose qu'elle se meut dans la direction TH, avec une vitesse égale à TA. Dans ce cas, les choses se trouvent dans les mêmes conditions que si, l'œil de l'observateur étant fixe, le rayon de lumière

était animé de deux mouvements, l'un suivant ET, l'autre, égal et contraire à celui de la Terre, suivant TA'.

Comme la vitesse de la lumière est environ 10,000 fois plus grande que celle de la Terre, on aura la direction suivant laquelle apparaîtra l'étoile E en construisant le parallélogramme TCBA', dont les côtés TC et A'T seront égaux respectivement à 10,000 et 1, et en traçant la diagonale BT ; l'étoile sera vue suivant Te et paraîtra déviée de sa véritable position de la valeur angulaire ETe, qu'on appelle l'angle d'*aberration.*

La même construction, répétée à tous les points de l'orbite terrestre, fait voir que l'étoile paraîtra décrire annuellement une ellipse dans un plan parallèle à l'écliptique.

Comme on le voit, le phénomène de l'aberration démontre directement le mouvement de translation de la Terre autour du Soleil, et il a la même valeur démonstrative que l'expérience du pendule de Foucault pour le mouvement de rotation.

Remarque.—La Terre décrit donc en une année, dans le sens direct, une ellipse dont le Soleil occupe un des foyers. Le plan de l'équateur terrestre fait avec le plan de l'orbite, c'est-à-dire de l'écliptique, un angle de 23°27', qui est *l'obliquité de l'écliptique*, et l'axe de rotation de la Terre est incliné sur ce dernier plan d'un angle de 66°32'38". Pendant toute la durée de la révolution, l'axe de la Terre reste constamment parallèle à lui-même, sauf certains changements dont nous parlerons bientôt, et se dirige toujours vers le même point du ciel ; la hauteur du pôle au-dessus de l'horizon de chaque lieu est toujours aussi à peu près constante.

CHAPITRE V

PRÉCESSION DES ÉQUINOXES

109. **Rétrogradation des points équinoxiaux.** — Nous avons déjà dit (95) que la durée de l'année sidérale surpasse celle de l'année tropique d'environ 20m.28s., ce qui veut dire que le Soleil, parti de l'équinoxe du printemps où il coïncidait avec une certaine étoile, rencontre de nouveau, au bout d'une année, le même équinoxe avant d'avoir atteint la même étoile, c'est-à-dire avant d'avoir accompli une révolution complète ; il lui reste encore à décrire, pour arriver à ce but, un arc de 50",2.

On a constaté, de plus, que les longitudes célestes de toutes les étoiles augmentent annuellement de 50",2, comme s'il y avait un mouvement d'ensemble de la sphère céleste d'occident en orient.

Ces deux phénomènes s'expliquent par un déplacement très lent de la ligne des équinoxes, déplacement en vertu duquel les points équinoxiaux, et en particulier, l'équinoxe du printemps, se meuvent annuellement, en sens contraire du mouvement du Soleil, c'est-à-dire dans le sens *rétrograde*, d'un angle de 50",2. Le Soleil rencontrera donc le point vernal, qui se porte au devant de lui, avant d'avoir achevé sa révolution complète. De même aussi, ce mouvement du point vernal rend compte de l'augmentation des longitudes célestes des étoiles, puisque les longitudes, comme on le sait, se comptent à partir du point vernal.

C'est ce déplacement des équinoxes, dans le sens indiqué, que l'on a appelé la *rétrogradation des points équinoxiaux*, ou *précession des équinoxes*, parce que le mouvement du point vernal vers le Soleil hâte le commencement de l'année tropique.

Les points équinoxiaux, en retrogradant de 50",2 par année, ou de 1° par 70 ans, feront le tour complet

de l'écliptique en 26,000 ans environ. Ils se sont déplacés d'un peu plus de 27° depuis Hipparque, qui, le premier, 150 ans avant J.-C., avait remarqué ce phénomène.

110. **Explication de la précession des équinoxes.**—L'on sait que l'axe du monde, qui n'est que l'axe de rotation de la Terre prolongé jusqu'à la voûte céleste, fait avec l'axe de l'écliptique un angle de 23°27', égal à l'obliquité de l'écliptique ; l'on sait, de plus, que la ligne des équinoxes n'est rien autre chose que l'intersection de ce dernier plan avec le plan de l'équateur.

Imaginons que l'axe du monde tourne très lentement autour de l'axe de l'écliptique, et décrive, en rétrogradant, dans l'intervalle de 26,000 ans, un cône de 47° d'ouverture dont le sommet serait au centre de la

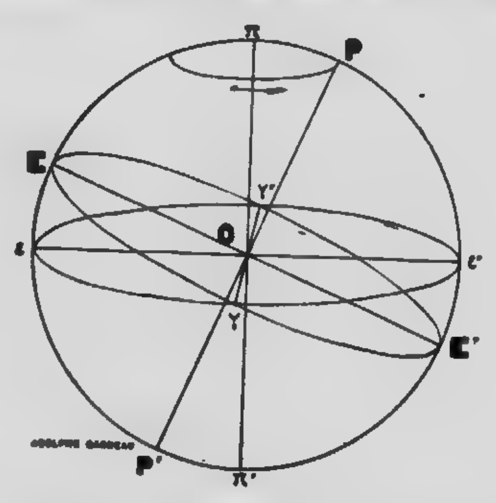


Fig. 34.—Précession des équinoxes.

sphère céleste (fig. 34), et dont la base serait un cercle P parallèle de l'écliptique. L'on voit alors que le plan de l'équateur, tout en restant perpendiculaire à l'axe des pôles, se déplacera lui aussi dans le même sens, et l'intersection des deux plans de l'équateur et de l'éclip-

tique, c'est-à-dire la ligne des équinoxes, occupera successivement, dans le sens rétrograde, tous les points de l'écliptique jusqu'à l'achèvement complet du mouvement conique de l'axe PP'. Il y aura donc, dans ces conditions, *rétrogradation des points équinoxiaux*, comme l'observation le fait voir.

Une toupie qui se tient obliquement sur son axe par rapport à la verticale, et qui, outre son mouvement de rotation sur elle-même, décrit lentement un cône en forme d'entonnoir, fournit une image saisissante du phénomène de la précession des équinoxes.

111. **Cause de la précession des équinoxes.**— On attribue le phénomène de la précession à l'attraction combinée du Soleil et de la Lune sur le renflement équatorial de notre globe. C'est l'action de la Lune, à cause de sa plus faible distance de la Terre, qui est la plus considérable ; elle compte pour le deux tiers dans la production du phénomène.

On peut donc dire que l'action combinée du Soleil et de la Lune déplace le plan de l'équateur terrestre, et que le mouvement conique de l'axe du monde est une conséquence de ce déplacement.

112. **Effets de la précession des équinoxes.**— Le déplacement du plan de l'équateur, outre les deux effets dont nous avons déjà parlé, c'est-à-dire de rendre l'année tropique plus courte que l'année sidérale et d'augmenter la longitude des étoiles, produit à la longue, malgré sa grande lenteur, des changements profonds dans l'aspect du ciel.

1° L'on sait que les signes du zodiaque (77) portent les noms des constellations avec lesquelles ils coïncidaient autrefois. Il n'en est plus ainsi de nos jours. Le point vernal qui, au temps d'Hipparque, était dans la constellation du Bélier, se trouve actuellement, par suite d'une retrogradation de 27°, dans la constellation des Poissons, et il n'y a plus coïncidence entre les

signes et les constellations de mêmes noms.—Toutefois, on a conservé les 12 signes du zodiaque dans les mêmes positions par rapport aux saisons ; dans les calendriers, le printemps commence encore lorsque le Soleil entre dans le signe du Bélier. L'on voit qu'il faut faire une distinction entre les signes du zodiaque et les constellations zodiacales.

2° Sans le mouvement de précession, l'axe du monde serait toujours dirigé vers le même point du ciel, malgré la translation de la Terre autour du Soleil. Il en est autrement par suite du mouvement conique de l'axe du monde, et le pôle céleste, en décrivant une courbe sur la voûte des cieux dans l'espace de 26,000 ans, se déplace parmi les étoiles. L'étoile polaire actuelle, qui est à 1°10' du pôle céleste, était à 12° du même point, lorsque furent faites les premières observations, il y a 2,000 ans. Vers l'an 2,100, la Polaire sera à 27',5 du pôle, puis sa distance augmentera et sera de 46° au bout de 13,000 ans, pour diminuer et augmenter successivement. La belle étoile α de la Lyre, Véga, aujourd'hui à 51° environ du pôle, n'en sera plus qu'à 5°, dans 13,000 ans, et pourra remplacer l'étoile polaire actuelle.

3° La précession des équinoxes a aussi pour effet de modifier les horizons terrestres. Certaines étoiles, par exemple celles de la constellation de Cassiopée, qui sont maintenant des circompolaires, ne l'étaient pas autrefois ; d'autres, au contraire, ont cessé d'être visibles.

113. **Nutation.**—On appelle *nutation* un mouvement conique de l'axe du monde superposé à celui de la précession, en vertu duquel le pôle céleste décrit en retrogradant, et dans l'espace de 18 ans $\frac{2}{3}$, une ellipse dont le grand axe, dirigé vers le pôle de l'écliptique, mesure 18",42 et le petit axe 13",72. Les deux pôles s'éloignent donc et se rapprochent successivement l'un de l'autre, et il en résulte un balancement de l'équateur qui fait varier l'obliquité de l'écliptique.

La nutation est une conséquence de l'inclinaison de l'orbite lunaire et a pour cause principale l'action de la Lune sur le renflement équatorial.

Il est à remarquer que cette période de 18 ans ⅔ est précisément, comme nous le dirons plus loin, celle de la rotation des nœuds de l'orbite lunaire dans le plan de l'écliptique.

CHAPITRE VI

INÉGALITÉ DES JOURS ET DES NUITS

114. **Longueurs relatives du jour et de la nuit en différents points du globe.** —Le mouvement de rotation de la Terre sur elle-même en 24 heures produit, pour un lieu déterminé de sa surface, la succession des jours et des nuits. C'est le *jour*, lorsque le Soleil, au-dessus de l'horizon, inonde le sol de lumière et de chaleur ; c'est la *nuit*, lorsque, après le coucher de l'astre radieux, les ténèbres envahissent l'espace.

Mais le jour solaire n'est pas divisé en deux parties égales par les périodes de lumière et d'obscurité. Non seulement, pour un même lieu, les longueurs relatives des jours et des nuits varient avec l'époque de l'année, mais encore ces variations ne sont pas les mêmes suivant la latitude du lieu où l'on se trouve.

A l'équateur, pendant toute l'année, les jours et les nuits sont toujours d'égale durée, tandis qu'aux pôles, il n'y a qu'un jour et une nuit par année, tous deux longs de six mois. Entre l'équateur et les pôles, le jour égale la nuit deux fois par années, aux équinoxes du printemps et d'automne, et, aux autres époques, les longueurs relatives varient suivant la saison et dans des limites d'autant plus grandes que l'on se rapproche davantage des pôles.

Il est facile d'expliquer ces phénomènes remarquables, qui ont tant d'influence sur la vie quotidienne et sur les productions des différents pays, soit dans l'hypothèse des mouvements apparents du Soleil autour de la Terre, soit dans le cas réel des deux mouvements de rotation et de translation de notre globe autour du Soleil.

115. Explication de l'inégalité des jours et des nuits.—Dans l'hypothèse des mouvements apparents du Soleil, considérons trois cas principaux, suivant que l'observateur est dans la *sphère droite*, la *sphère oblique* ou la *sphère parallèle*.

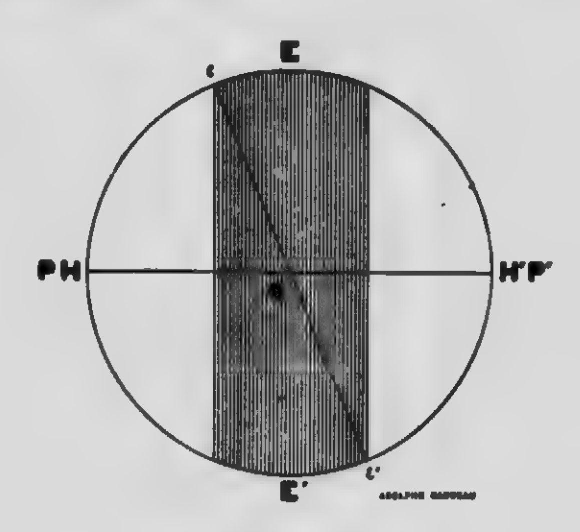


Fig. 35.—Sphère droite.

1° Soit l'observateur dans la *sphère droite*, c'est-à-dire placé à l'*équateur* de la Terre.—Dans la figure 35, la Terre est au point O, au centre de la sphère céleste, les lignes EE' et ee' sont les traces des plans de l'équateur céleste et de l'écliptique sur le plan de la figure. La ligne des pôles PP' se confond avec le plan de l'horizon HH', c'est-à-dire que la latitude est égale à 0. Les

lignes parallèles à l'équateur représentent les traces des courbes que le Soleil paraît décrire tous les jours, en vertu du mouvement diurne, en se déplaçant annuellement d'un solstice à l'autre, de *s* vers *s'*.

Comme on le voit dans la figure, les courbes décrites par le Soleil, quelle que soit sa position sur l'écliptique à toutes les époques de l'année, sont toutes divisées en deux parties égales par le plan de l'horizon. Le Soleil reste donc également longtemps au-dessus et au-dessous de l'horizon, l'arc diurne égale l'arc nocturne, et le *jour est toujours égal à la nuit.*

2° Soit l'observateur dans la *sphère oblique*, c'est-à-dire en un point situé entre l'équateur et les pôles

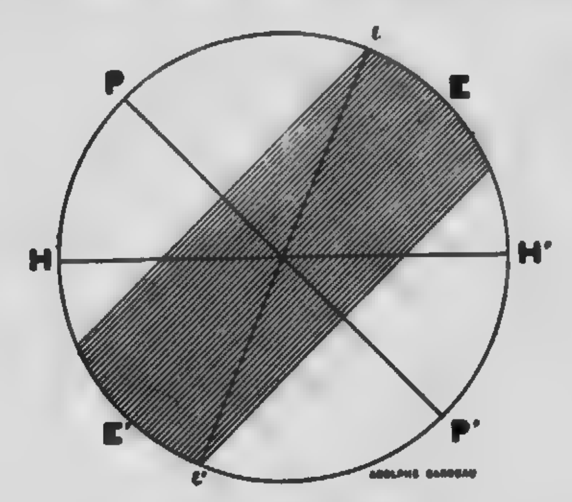


Fig. 36.—Sphère oblique.

(fig. 36). Dans ce cas, la ligne des pôles est inclinée sur l'horizon du lieu HH', et il en est de même des traces du plan de l'équateur et des courbes décrites tous les jours par le Soleil. Lorsque ce dernier est au centre de la figure, à l'équinoxe du printemps, le jour est égal à la nuit. Mais, à mesure qu'il s'éloigne de ce point, les courbes tracées au-dessus de l'horizon sont de

plus en plus longues, par rapport à celles décrites en-dessous, et le jour est plus long que la nuit jusqu'à un maximum en *s*, au solstice d'été.

Lorsque le Soleil descend en arrière de la figure, vers l'équinoxe d'automne, les jours, tout e étant plus longs que les nuits, diminuent par rapport à ces dernières, et, à l'équinoxe d'automne, il y a de nouveau égalité.

A partir de ce point jusqu'au solstice d'hiver, le Soleil, dans l'hémisphère austral, trace des courbes nocturnes plus longues que les courbes diurnes, et les nuits sont plus longues que les jours jusqu'à un maximum au point *s'*, au solstice d'hiver. Depuis ce point jusqu'à l'équinoxe du printemps, les nuits diminuent et les jours augmentent en longueur jusqu'à une nouvelle égalité au 20 ou 21 mars.

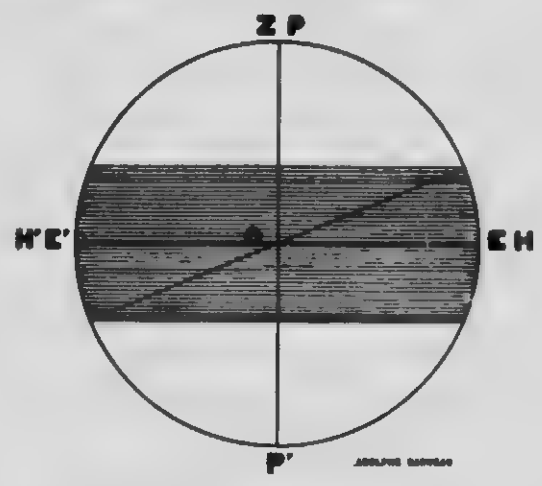


Fig. 37.—Sphère parallèle.

3° Enfin, dans la *sphère parallèle* (fig. 37), le pôle P est au zénith, et l'équateur est dans le plan de l'horizon : c'est l'apparence de la sphère céleste pour tout observateur placé au pôle de la Terre. Comme on le voit par la figure, de l'équinoxe du printemps à l'équinoxe d'automne, les courbes journalières tracées par le Soleil

sont toujours au-dessus de l'horizon, tandis qu'elles sont au-dessous, de l'équinoxe l'automne à l'équinoxe du printemps : il n'y a donc qu'un jour et qu'une nuit par année.

116. **Inégalité des jours et des nuits dans l'hypothèse du mouvement annuel de la Terre.**— A cause de la grande distance de la Terre au Soleil, les rayons de celui-ci peuvent être considérés comme sensiblement parallèles, et ils éclairent constamment à peu près une moitié de la Terre ; c'est le jour pour la partie éclairée et la nuit pour celle qui est dans l'ombre. On appelle *cercle d'illumination* le cercle dont le plan est perpendiculaire aux rayons solaires et qui sépare la partie éclairée de la partie sombre de la Terre.

A cause de l'obliquité de l'écliptique, le cercle d'illumination ne passe par les pôles que deux fois par année, c'est-à-dire à l'époque des deux équinoxes. L'on

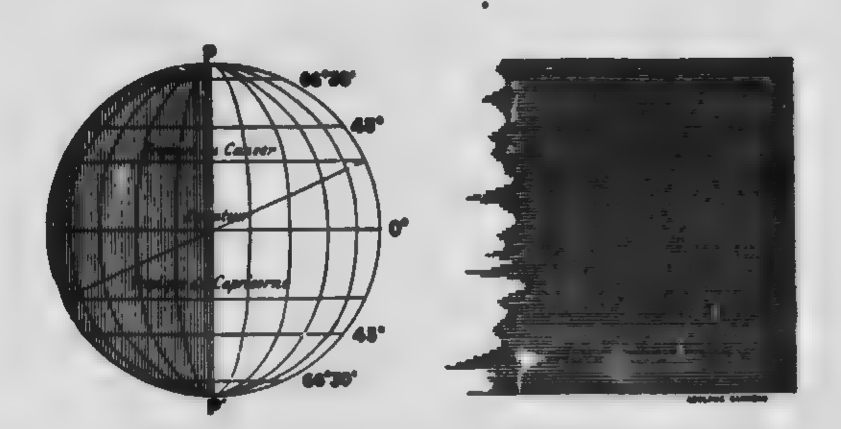


Fig. 38.—La Terre aux équinoxes.

voit par la figure 38 que, dans ces conditions, tous les parallèles terrestres sont divisés en deux parties égales

par le cercle d'illumination, chaque point de la Terre demeure également longtemps dans la lumière et dans l'ombre pendant la durée d'un tour complet, et le jour est égal à la nuit *pour toute la Terre.*

Il n'en est pas de même aux autres périodes de l'année. Comme le plan de l'équateur terrestre ne passe pas par le centre du Soleil, le cercle l'illumination ne passe pas non plus par les pôles, et, au solstice d'été, comme on le voit dans la figure 39, il aboutit aux deux extrémités des cercles polaires, a 66°,5, des

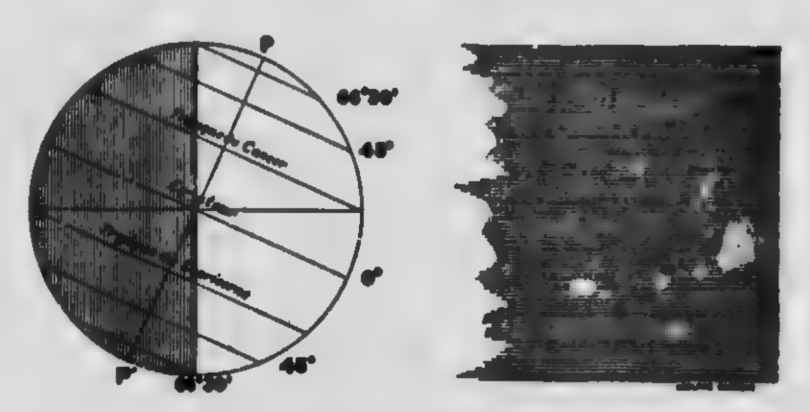


Fig. 39.—La Terre au solstice d'été.

pôles. Il en résulte que les parallèles terrestres sont coupés en parties d'autant plus inégales qu'ils sont plus rapprochés des pôles, et, pour l'hémisphère boréal, le jour surpasse d'autant plus la nuit que la latitude du lieu dont il s'agit est plus élevée. On voit par la figure que le jour est égal à la nuit pour les pays situés à l'équateur. A mesure qu'on s'en éloigne, la longueur du jour augmente et celle de la nuit diminue ; celle-ci devient nulle au cercle polaire arctique et le Soleil reste au-dessus de l'horizon pendant 24 heures.

La même figure fait voir aussi que les phénomènes inverses ont lieu dans l'hémisphère austral ; là, les nuits sont plus longues que les jours, et, au cercle polaire antarctique, la nuit a une durée de 24 heures.

Au solstice d'hiver, les parties éclairées et sombres de la Terre seraient dans l'ordre inverse de celui de la figure 89; les nuits sont plus longues que les jours pour l'hémisphère boréal, tandis que c'est le contraire pour l'hémisphère austral.

117. **Longueurs des jours aux différents points de la Terre.**—Les longueurs relatives des jours et des nuits sont très variables suivant la position géographiphe, c'est-à-dire suivant la latitude du lieu où l'on se trouve, et suivant l'époque de l'année.

A l'équateur, comme nous l'avons déjà dit, le jour est égal à la nuit pendant toute l'année. Aux tropiques, à 23°27' de l'équateur, le jour, au solstice d'été, est de 13½ heures, et, au solstice d'hiver, de 10½ heures.

La différence de longueur entre le jour et la nuit s'accentue à mesure que la latitude augmente. La durée du plus long jour de l'année varie, entre les tropiques et les cercles polaires, de 13½ à 24 heures, à mesure que la déclinaison du Soleil augmente, de sorte que, au cercle polaire arctique même, à 66°½ de l'équateur, le Soleil ne se couche pas le jour du solstice d'été. Au cercle polaire antarctique, le même jour, le Soleil reste 24 heures au-dessous de l'horizon.

Enfin, entre les cercles polaires et les pôles, les variations de longueur des jours sont encore plus notables. C'est ainsi que le jour peut atteindre la longueur de un ou plusieurs mois; il est de 2 mois, à la latitude de 70°, à l'époque du solstice d'été, et la nuit dure également 2 mois, à l'époque du solstice d'hiver. Inutile de dire que c'est l'inverse qui a lieu pour l'hémisphère austral, à égalité de latitude. Le jour, long de 4 mois, à la latitude de 80°, est de 6 mois au pôle même.

118. **Durées des plus longs jours à différentes latitudes.** —Le jour le plus long de l'année a lieu au solstice d'été, et le plus court au solstice d'hiver pour l'hémisphère boréal ; c'est l'inverse pour l'hémisphère austral. A l'équateur, le jour minimum a lieu aux équinoxes et le jour maximum aux deux solstices ; la différence n'est qu'une demi-minute.

A Québec, dont la latitude est de 46° 48' 22",9, le jour le plus long, au solstice d'été, est d'environ 15h. 42m., et le plus court, au solstice d'hiver, est à peu près de 8h. 33m.

Le tableau suivant, d'après l'*Annuaire du Bureau des Longitudes* pour 1913, donne les longueurs maxima et minima des jours pour les latitudes boréales comprises en 0° et 67° :

Latitude	Jour maximum	Jour minimum	Latitude	Jour maximum	Jour minimum
	h. m.	h. m.		h. m.	h. m.
0°	12. 5	12. 4,5	50°	16.18	8. 0
10°	12.40	11.30	55°	17.17	7. 5
20°	13.18	10.53	60°	18.45	5.45
30°	14. 2	10.10	65°	21.43	3.22
40°	14.58	9.16	65°59'	24. 0	2.30
45°	15.33	8.42	67° 7'	“	0. 0

Pour les latitudes plus élevées, on appelle *jour polaire* et *nuit polaire* les durées pendant lesquelles le Soleil est toujours au-dessus ou au-dessous de l'horizon.

Voici, d'après le même *Annuaire*, les durées exprimées en jours :

Latitude boréale	Jour polaire	Nuit polaire	Latitude australe	Jour polaire	Nuit polaire
	Jours	Jours		Jours	Jours
70°	70	55	70°	65	59
75°	107	93	75°	101	99
80°	137	123	80°	130	130
85°	163	150	85°	156	158
90°	189	176	90°	182	183

La durée du jour varie de 1 à 6 mois exactement aux latitudes suivantes (*Annuaire* pour 1911) :

Latitude	Durée du jour
67°23'	1 mois
69°51'	2 "
73°40'	3 "
78°11'	4 "
84° 5'	5 "
90° 0'	6 "

119. **Effet de la réfraction atmosphérique sur la longueur du jour.**—Nous avons déjà vu que la réfraction, c'est-à-dire la déviation qu'éprouvent les rayons lumineux en traversant l'atmosphère, a pour effet de faire paraître les astres plus haut qu'ils ne sont en réalité, et que l'effet maximum, égal à 34', a lieu lorsque les astres sont à l'horizon. Il résulte de ce phénomème que le Soleil, dont le diamètre apparent est

inférieur à 34', paraît tout entier au-dessus de l'horizon, lorsqu'il est encore réellement en dessous de ce plan.

La valeur de l'augmentation de la durée du jour par la réfraction est variable avec la latitude, parce que ce n'est qu'à l'équateur que le Soleil se meut perpendiculairement à l'horizon ; partout ailleurs, sa course est plus ou moins oblique. C'est ce qui explique pourquoi la longueur du jour, augmentée de 4 minutes à l'équateur, croît de 6 à 7 minutes sous nos latitudes et de plusieurs fois 24 heures aux pôles.

120. **Effet de la diffusion de la lumière dans l'atmosphère, crépuscule.**—L'on sait que le passage de la nuit au jour, le matin, et du jour à la nuit, le soir, ne se fait pas brusquement, mais que l'*aurore* ou *crépuscule du matin*, et la *brune* ou *crépuscule du soir* précèdent et suivent le lever et le coucher du Soleil.

Ce phénomène du crépuscule est dû à la *réflexion irrégulière* ou *diffusion* de la lumière solaire dans les couches supérieures de l'atmosphère, diffusion en vertu de laquelle le sol reçoit la lumière du Soleil lorsque cet astre est au-dessous de l'horizon. Le crépuscule du matin commence et le crépuscule du soir finit lorsque le Soleil est à 18° au-dessous de l'horizon ; le crépuscule astronomique est maximum aux deux solstices et minimum un peu avant l'équinoxe du printemps et un peu après l'équinoxe d'automne.

Sa durée est variable avec la latitude du lieu. A l'équateur, où le Soleil traverse verticalement l'horizon et décrit verticalement un arc de 18°, le crépuscule est plus court que partout ailleurs, où le Soleil décrit cet arc plus ou moins obliquement ; la durée de la *nuit close* est donc diminuée en général de plus en plus à mesure que la latitude du lieu augmente. C'est ainsi que le crépuscule, du matin et du soir, long de plus de

2 heures à l'équateur, peut atteindre la valeur de plusieurs jours et même de plusieurs mois, dans les régions polaires. Il arrive, dans ces lieux de hautes latitudes, que le Soleil, près du solstice d'été, ne descend pas à 18° au-dessous de l'horizon, et qu'alors, le crépuscule du soir se confondant avec celui du matin, il n'y a pas de nuit close. Il suffit pour cela que la somme de la déclinaison du Soleil et de la latitude du lieu atteigne 72°, ce qui ne peut arriver pour les latitudes inférieures à 48° 33'.

On voit que ce phénomène ne peut se produire à Québec dont la latitude n'a pas cette valeur ; à Paris, il n'y a pas de nuit close au solstice d'été.

Le tableau suivant, d'après l'*Annuaire du Bureau des Longitudes* pour 1911, indique les durées du crépuscule pour différentes latitudes, le 1er de chaque [redacted]

Latitude	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°
	h. m.	h. m.	h. m.	h. m.	h. m.	h. m.	h. m.
Janvier	1.16	1.16	1.20	1.27	1.39	2. 1	2.48
Février.......	1.13	1.14	1.17	1.23	1.34	1.54	2.30
Mars..........	1.10	1.11	1.14	1.21	1.31	1.49	2.21
Avril..........	1.10	1.11	1.15	1.22	1.34	1.55	2.41
Mai............	1.12	1.14	1.19	1.28	1.45	2.21	(1)
Juin...........	1.15	1.18	1.24	1.36	2. 0	3.45	(1)
Juillet.	1.16	1.19	1.25	1.38	2. 4	(1)	(1)
Août..........	1.14	1.16	1.21	1.32	1.51	2.41	(1)
Septembre .	1.11	1.12	1.17	1.24	1.37	2. 3	3. 8
Octobre......	1.10	1.11	1.14	1.21	1.32	1.50	2.25
Novembre..	1.12	1.12	1.16	1.22	1.33	1.52	2.26
Décembre...	1.15	1.15	1.19	1.26	1.37	1.59	2.50

(1) Le Soleil n'est pas abaissé de 18° au-dessous de l'horizon.

121. **Hauteur méridienne du Soleil.**— La hauteur du Soleil au-dessus de l'horizon à midi est très variable suivant l'époque de l'année et la latitude d'un lieu donné. Il suffit de jeter un coup d'œil sur les figures 35, 36 et 37 pour voir que cette hauteur est d'autant plus grande que la latitude du lieu est plus basse, c'est-à-dire que l'on est plus rapproché de l'équateur. En ce dernier lieu, le Soleil atteint le zénith deux fois par année, aux deux équinoxes, et, pendant une partie de l'année, les ombres à midi sont dirigées vers le sud. Aux tropiques, le Soleil ne passe au zénith qu'une seule fois par année, et, pour des latitudes plus élevées que 23° 27,' il ne se rend jamais jusqu'à ce point. A Québec, au solstice d'été, la hauteur méridienne du Soleil est de 66° 39', et, au solstice d'hiver, de 19° 45'.

CHAPITRE VII

LES SAISONS

122. **Division de l'année en quatre saisons.**— L'année tropique est divisée en quatre parties inégales, appelées *saisons*, déterminées par les deux solstices et les deux équinoxes, savoir : le *printemps*, l'*été*, l'*automne* et l'*hiver*.

Le *printemps* commence au point vernal ou équinoxe du printemps, entre le 20 et le 22 mars, et se termine au solstice 'été, vers le 20 ou le 21 juin.— L'*été* commence au solstice d'été et finit à l'équinoxe d'automne, vers le 22 ou le 23 septembre.—L'*automne* succède à l'été, à l'équinoxe d'automne, et finit au solstice d'hiver, vers le 21 ou le 22 décembre. L'*hiver* commence au solstice d'hiver et se termine à l'équinoxe du printemps.

Les saisons ne commencent pas chaque année aux

mêmes heures, ni absolument aux mêmes dates, bien que les différences d'année en année ne soient pas très grandes.

Pour l'année 1913, les dates et les heures du commencement des saisons, heures exprimées en temps moyen civil du " Eastern Standard Time ", sont les suivantes :

Printemps : le 21 mars, à 0h. 18m. du matin.
Eté : le 21 juin, à 8h. 10m. du soir.
Automne : le 23 septembre, à 10h. 58m. du matin.
Hiver : le 22 décembre, à 5h. 35m. du matin.

123. **Inégales durées des saisons.**—En comptant le nombre de jours qui séparent l'une de l'autre les quatre époques de l'année déterminant la longueur des saisons, on voit qu'elles sont inégales en durée. Le printemps dure en moyenne 92j. 20h., l'été 93j. 15h., l'automne 89j. 19h., l'hiver 89j. Comme le Soleil, dans son mouvement apparent annuel, passe dans l'hémisphère boréal à l'équinoxe du printemps et y reste jusqu'à l'équinoxe d'automne, c'est-à-dire pendant toute la durée du printemps et de l'été, il en résulte qu'il demeure dans notre hémisphère environ 8 jours de plus que dans l'hémisphère austral.

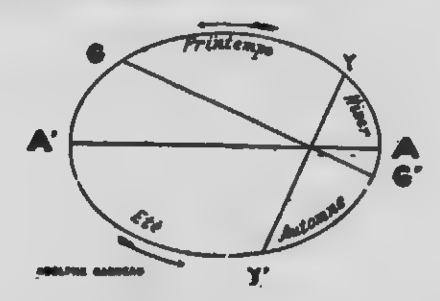


Fig. 40.—Saisons.

L'été est la saison la plus longue, puis viennent le printemps, l'automne et l'hiver, avec une différence

d'un peu plus de 4 jours entre la plus longue et la plus courte.

On explique l'inégale durée des saisons par le *principe des aires* (85) et l'*inclinaison de la ligne des apsides sur celle des solstices.*

On voit, en effet, dans la fig. 40, que la ligne des solstices GG' ne coïncide pas avec le grand axe del'orbite solaire ou ligne des apsides AA' ; ces lignes font entre elles un angle de 10°. Dès lors, l'ellipse solaire est divisée en quatre parties inégales par la ligne des solstices et celle des équinoxes γγ' ; l'espace le plus long à parcourir par le Soleil sera Gγ', l'été, puis ce sera la longueur γG, le printemps, G'γ' l'automne et enfin l'arc le plus petit γA, l'hiver.

Une deuxième cause d'inégalité s'ajoute à la précédente. La vitesse du Soleil, d'après le *principe des aires*, est maximum au périgée (en réalité la vitesse de la Terre est maximum au périhélie) et minimum à l'apogée. Le Soleil se meut donc plus vite pendant l'hiver et l'automne que pendant le printemps et l'été. Les deux premières saisons seront donc plus courtes que les deux dernières, et la différence s'accentue par le fait que le Soleil décrit les arcs les plus petits lorsqu'il est à son maximum de vitesse.

La durée des saisons subit, dans la suite des temps, des variations lentes par le fait que le périgée s'éloigne chaque année du point vernal d'un angle de 62".

Le périgée a coïncidé avec le solstice d'hiver vers l'an 1250 de notre ère ; le printemps était alors égal à l'été, et l'automne à l'hiver.

124.—**Inégalité des saisons au point de vue de la température.** — Les saisons, outre leur inégale durée, sont aussi caractérisées par des différences profondes dans les longueurs relatives des jours et des nuits, dans l'aspect du sol et dans les productions de la

terre qui dépendent des températures très variables suivant l'époque de l'année.

Dans nos climats, l'été est la saison des chaleurs et l'hiver celle des froids ; c'est pendant l'été que se fait la végétation, et que les plantes se chargent de feuilles, de fleurs et de fruits, tandis qu'en hiver, le sol est enseveli sous un épais manteau de neige, la navigation est suspendue, et les relations commerciales sont presque arrêtées.

Quelles sont les causes de ces changements si considérables dans la température pour un lieu donné ?

La quantité de chaleur rayonnée par le Soleil sur un point considéré de la surface du sol dépend de deux causes astronomiques principales, savoir : la longueur du jour et la hauteur méridienne du Soleil au-dessus de l'horizon.

1° L'on sait que, par suite de la plus grande longueur des jours, le Soleil reste plus longtemps au-dessus de l'horizon, en été, qu'au-dessous de ce plan. Il en résulte que le Soleil chauffe la Terre plus longtemps, la quantité de chaleur emmagasinée est plus considérable, et le sol n'a pas le temps de perdre pendant la nuit la chaleur qu'il a reçue pendant le jour.

En hiver, c'est l'inverse qui se produit. Les nuits sont très longues et les jours très courts, de sorte que le sol perd pendant la nuit plus que ce qu'il peut gagner pendant le jour, et la température s'abaisse graduellement.

2° L'on enseigne en physique que les rayons du Soleil chauffent d'autant plus une surface quelconque qu'ils tombent plus perpendiculairement sur cette surface, et, par suite, chauffent d'autant moins qu'ils frappent cette surface plus obliquement.

En été, à cause de la grande hauteur méridienne du Soleil, les rayons de cet astre se rapprochent plus de la normale que pendant l'hiver, où les rayons sont très obliques. A Québec, comme nous l'avons déjà vu,

la hauteur méridienne du Soleil, au solstice d'été, est de 66° 39', et, au solstice d'hiver, de 19° 45'. Cette grande différence dans l'obliquité des rayons explique bien pourquoi la quantité de chaleur reçue en été est beaucoup plus grande qu'en hiver.

Dans l'hémisphère austral, les saisons, relativement à la température, sont dans l'ordre inverse des nôtres. L'hiver est la saison des chaleurs et l'été celle des froids.

En ne tenant compte que de ces deux causes astronomiques, on devrait observer même température moyenne et même climat pour les lieux de même latitude. Ce n'est pas ordinairement ce qui arrive ; un grand nombre d'autres causes d'ordre météorologique, comme la nébulosité, l'altitude, les courants marins, le voisinage des mers, le régime des vents, etc., contribuent beaucoup à modifier le climat de certaines localités.

Remarque.—La figure 39 montre clairement que l'inégale durée des jours et des nuits, ainsi que la différence de température aux diverses époques de l'année, d'où résultent les saisons, sont dues à une seule et unique cause très simple, l'inclinaison de l'axe de la Terre sur le plan de son orbite, ou, si l'on veut, l'obliquité de l'écliptique sur le plan de l'équateur. Si l'axe de la Terre était perpendiculaire sur le plan de son orbite, les jours seraient égaux aux nuits pendant toute l'année, chaque zone du globe serait toujours chauffée également, et il n'y aurait plus de saisons.

L'on voit que la divine Providence a su produire des effets extrêmement variés avec une cause des plus simples.

125. **Températures maximum et minimum de l'année et du jour.**—C'est au solstice d'été que le jour est le plus long et que la hauteur méridienne du Soleil est la plus grande. Toutefois, les plus fortes

chaleurs ont lieu dans la deuxième moitié de juillet, pendant les *canicules*, alors que les jours ont déjà diminué et que le Soleil monte moins haut au-dessus de l'horizon. Ce phénomène s'explique par le fait que la chaleur augmente aussi longtemps que la quantité reçue est supérieure à celle qui est perdue par le rayonnement nocturne. Les plus grands froids, pour une raison analogue, ont lieu vers le milieu de janvier, près d'un mois après le solstice d'hiver.

Il en est de même pour la température maximum d'une même journée; la température continue de s'élever après midi, bien que le Soleil se rapproche de l'horizon, et ce n'est qu'après deux heures de l'après-midi que la perte par rayonnement commence à faire baisser la température jusqu'au lendemain matin, au lever du Soleil.

126. **La Terre divisée en cinq zones.**—Les deux tropiques et les deux cercles polaires divisent la Terre en cinq bandes ou zones, caractérisées par des différences profondes dans la température moyenne qu'on y constate.

La *zone torride*, où règnent les grandes chaleurs, large de 46° 55', est limitée par les deux tropiques et partagée en deux parties égales par l'équateur.

Les deux *zones tempérées* s'étendent des tropiques aux cercles polaires; elles ont chacune 43° 6' de largeur et la chaleur y est variable suivant l'époque de l'année, c'est-à-dire suivant les longueurs relatives des jours et des nuits et la plus ou moins grande hauteur du Soleil.

Les deux *zones glaciales* ont pour surface les deux calottes sphériques limitées par les cercles polaires; la température moyenne y est très basse, le sol est couvert de neige et de glaces à peu près perpétuelles et les jours et les nuits y subissent des variations considérables.

CHAPITRE VIII

I.—PARALLAXE DU SOLEIL, SES DIMENSIONS ET SA DISTANCE A LA TERRE.

127. **Position réelle et position apparente des astres.**—Considérons (fig. 41) un astre en S', suffisamment rapproché de la Terre pour que les dimensions de celle-ci ne soient pas nulles par rapport à la distance. La position *vraie* de cet astre ne peut être connue exactement que si l'observation se fait au centre de la Terre, lequel est aussi le centre de la sphère céleste.

En effet, au centre C de la Terre, la distance zénithale de l'astre S'CZ serait plus petite qu'au point A où elle est égale à S'AZ. Dès lors, en ce dernier point, l'astre paraît plus loin du zénith ou plus bas au-dessus de l'horizon, et l'on n'observe que sa position *apparente*.

Il faut donc, pour observer le *lieu vrai* d'un astre, faire une correction par laquelle on ramène les obser-

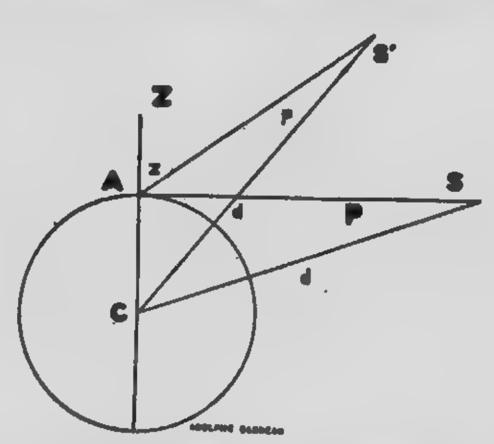


Fig. 41.—Parallaxe d'un astre.

vations à ce qu'elles seraient si elles étaient faites au centre de la Terre; c'est cette correction qu'on appelle la *parallaxe* d'un astre (*du grec*, différence).

128. Parallaxe d'un astre. — On définit encore la *parallaxe* d'un astre l'*angle sous lequel un observateur, placé au centre de cet astre, verrait le rayon terrestre*; si le rayon terrestre est vu *de face* du centre de l'astre placé en S, à l'horizon du point A, la parallaxe P est dite *horizontale*, et elle a sa plus grande valeur; si, au contraire, comme en S', le rayon de la Terre est vu *obliquement*, la parallaxe est dite *de hauteur*, et sa valeur diminue jusqu'à zéro, au zénith Z.

Considérons, dans la figure 41, le triangle rectangle ASC, dont le côté AC ou *r* est le rayon de la Terre, SC ou *d* est la distance des centres des deux astres, et P la parallaxe horizontale. On pourra écrire :

$$r = d \sin P,$$

d'où

$$\sin P = \frac{r}{d}.$$

Pour trouver la relation qui unit la parallaxe de hauteur *p* à la parallaxe horizontale, le triangle S'A C donne :

$$\frac{AC}{CS'} = \frac{\sin A S' C}{\sin C A S'},$$

où

$$\frac{r}{d} = \frac{\sin p}{\sin z}.$$

Or, on a déjà

$$\frac{r}{d} = \sin P.$$

Donc,

$$\sin P = \frac{\sin p}{\sin z},$$

d'où

$$\sin p = \sin P \sin z.$$

A cause de la petitesse des parallaxes, remplaçons les sinus par les arcs et l'on aura :

$$p = P \sin z.$$

129. Parallaxe horizontale du Soleil. — La parallaxe horizontale du Soleil a été mesurée par les astronomes, au moyen de l'observation des passages de la planète Vénus sur le disque du Soleil. Cette mesure peut se faire d'une manière plus simple, quoique moins précise, comme nous allons l'exposer maintenant (fig. 42).

Supposons deux observateurs placés aux points R et R' d'un même méridien terrestre, et menons, de ces deux points, les rayons terrestres RT et R'T, ainsi que les lignes RS et R'S aboutissant au centre du Soleil S. Les deux stations R et R' ont été choisies de telle façon que les verticales RT et R'T fassent entre elles un angle de 60° ; dès lors, l'arc RNR' est le $\frac{1}{6}$ de la circonférence et la distance rectilique RR', étant le côté d'un hexagone inscrit, est égale au rayon terrestre. Un observateur en S, au centre du Soleil, verrait de face la longueur RR' et l'angle RSR' est sensiblement la parallaxe du Soleil. On voit que cet angle fait partie du quadrilatère SRTR', dont l'angle en T est connu et dont la somme des angles intérieurs est égale à 360°. Les observateurs en R et R', au moment du passage du Soleil à leur méridien commun, mesurent sa distance zénithale Z et Z', d'où on en déduit les angles SRT et SR'T. Il ne reste plus qu'à faire la somme des trois angles SRT, T, et SR'T du quadrilatère et de retrancher cette somme de 360° pour obtenir l'angle en S, c'est-à-dire la parallaxe cherchée.

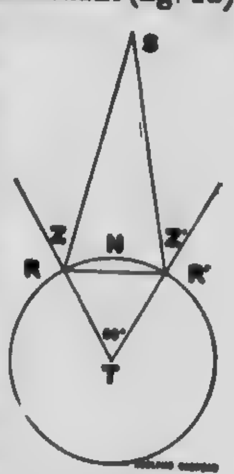


Fig. 42.—Parallaxe du Soleil.

D'après la valeur adoptée par la *Conférence internationale des étoiles fondamentales* tenue à Paris en 1896, la parallaxe horizontale équatoriale moyenne du Soleil est 8",80. Un angle aussi petit laisse supposer que la distance qui sépare la Terre du Soleil est très

grande. Les dimensions de la Terre paraîtraient insensibles pour tout observateur placé à la distance du Soleil de notre globe.

130. **Rayon du Soleil.**—On voit par la fig. 43 que la parallaxe du Soleil n'est rien autre chose que le demi-diamètre apparent de la Terre vu du centre du Soleil. Nous savons, de plus, que le demi-diamètre apparent du Soleil est de 15'59",4 ou 959",4. Si l'on

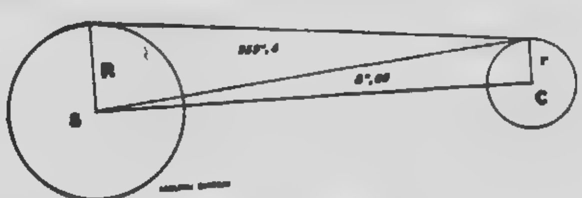


Fig. 43.—Mesure des dimensions du Soleil.

admet que les valeurs réelles des rayons du Soleil et de la Terre sont proportionnelles à leurs valeurs apparentes, on pourra poser:

$$\frac{R}{r} = \frac{959'',4}{8'',80},$$

d'où

$$R = 109,05\ r,$$

c'est-à-dire 695,500 kilomètres en chiffres ronds, ce qui donne environ 144,000 lieues anglaises.

131. **Surface du Soleil.**—L'on sait que les surfaces de deux sphères sont entre elles comme les carrés de leurs rayons. Donc, si S et *s* désignent les surfaces du Soleil et de la Terre, on aura,

$$\frac{S}{s} = \frac{R^2}{r^2} = \frac{109,05^2}{1},$$

d'où

$$S = 11,800\ s, \text{ environ.}$$

132. Volume du Soleil.—Les volumes de deux sphères sont entre eux comme les cubes des rayons. Représentons par V et v les volumes du Soleil et de la Terre et l'on posera,

$$\frac{V}{v} = \frac{R^3}{r^3} = \frac{109{,}05^3}{1},$$

c'est-à-dire

$$V = 1{,}301{,}200\ v.$$

Le Soleil est donc, en chiffres ronds, 1,300,000 fois plus gros que la Terre.

Il est difficile de se faire une idée exacte de la grosseur d'une sphère aussi volumineuse que le Soleil. Trois minots et demi de blé contiennent environ 1,300,000 grains ; un tas de blé formé par ces trois minots et demi et comparé à la grosseur d'un seul grain de blé représente donc le volume du Soleil par rapport à celui de la Terre.

Supposons que l'on place la Terre dans le Soleil, de façon que les deux centres coïncident. On trouve alors que la Lune, dont la distance à la Terre vaut en moyenne 60 fois le rayon terrestre, décrirait son orbite à l'intérieur du Soleil, et qu'il resterait encore, pour atteindre la surface de l'énorme sphère, 48 fois le rayon de la Terre.

133. Masse du Soleil.—Nous verrons plus loin que les attractions mutuelles de deux corps sont proportionnelles à leurs masses. On pourra donc calculer la masse du Soleil par rapport à celle de la Terre prise comme unité, en comparant les attractions réciproques des deux astres.

D'après Newcomb, la masse du Soleil vaut 333,432, celle de la Terre étant 1.

Comme la densité est le rapport de la masse au volume, la densité moyenne du Soleil sera 0,256, celle de la Terre étant 1 ; si on prend l'eau comme unité, la densité du Soleil est 1,4.

La pesanteur, à l'équateur solaire, est 28 en chiffres ronds, comparée à celle qui s'exerce sur la Terre.

134. **Distance du Soleil à la Terre.**—La valeur de la parallaxe horizontale du Soleil permet d'en déduire, par un calcul très simple, la distance de cet astre à la Terre. Soient S le centre du Soleil et l'angle AST la

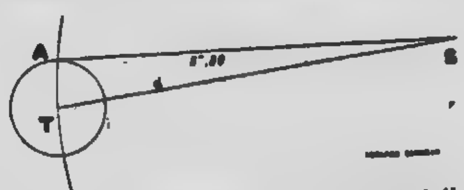


Fig. 44.—Distance de la Terre au Soleil.

parallaxe horizontale du Soleil (fig. 44). En raison de la petitesse de cet angle, on peut confondre, sans erreur sensible, le rayon terrestre r avec l'arc AT de 8",80, faisant partie d'une circonférence qui aurait pour centre le centre S du Soleil et pour rayon la longueur d, distance des deux centres. La longueur de l'arc AT, par rapport à la circonférence entière, est donnée par la proportion :

$$\frac{\text{Arc AT}}{\text{Circ. de ray. } d} = \frac{8'',80}{360^\circ},$$

où

$$\frac{r}{2\pi d} = \frac{8'',80}{360^\circ},$$

et, en divisant par 2 les dénominateurs,

$$\frac{r}{\pi d} = \frac{8'',80}{180^\circ}.$$

On aura alors,

$$d = \frac{180^\circ r}{\pi \times 8'',80} = 23{,}439\ r.$$

(d = distance moyenne, et r = rayon équatorial de la Terre).

La distance moyenne de la Terre au Soleil est évaluée à environ 30,500,000 lieues anglaises; en kilomètres, on obtient le chiffre 149,501,000.

Comme l'orbite solaire est elliptique, la distance moyenne varie du soixantième de sa valeur, suivant que le Soleil est à l'apogée ou au périgée.

On calcule qu'un train de chemin de fer, lancé à la vitesse de 100 kilomètres à l'heure, prendrait 170 ans pour franchir cette distance.

Il faudrait à un boulet de canon, dont la vitesse initiale serait ½ kilomètre par seconde, 9 ans pour parcourir la même distance, et au son, 13 ans et 9 mois. La lumière, avec l'énorme vitesse de 300,000 kilomètres à la seconde, prend 8m. 18s., 4.

II.—CONSTITUTION PHYSIQUE DU SOLEIL

135. **Aspect de la surface solaire.**—Si l'on examine le Soleil à l'aide d'une lunette, on constate, dans l'ensemble de sa surface, des différences d'éclat; le centre du disque est plus brillant que les bords. De plus, la surface lumineuse présente ici et là des points noirs, irréguliers de formes, et aperçus presqu'en même temps par Jean Fabricius et Galilée en 1611. Ces points noirs ont été appelés les *taches* du Soleil. Les taches sont constituées ordinairement par un noyau obscur nommé *ombre*, lequel est entouré de la *pénombre*, partie moins noire et bien délimitée.

On aperçoit aussi sur le disque du Soleil des bourrelets très brillants, appelés *facules*, plus nombreux et plus étendus que les taches. Celles-ci sont toujours entourées par une facule, mais la plupart des facules n'ont pas de taches. Enfin, la surface du Soleil n'est pas partout également lumineuse ; on voit, avec un fort grossissement, de nombreux grains brillants, appelés

lucules, formant près des taches des fils réguliers et se détachant sur un fond moins lumineux.

Les taches sont très variées de formes et de dimensions ; quelquefois elles se segmentent en plusieurs parties, ou bien elles ont l'apparence d'immenses tourbillons. Quelques-unes ont des longueurs égales à 5 fois le diamètre de la Terre.

136. **Déplacement des taches, forme sphérique et rotation du Soleil.**—Les taches et les facules du Soleil ne sont pas fixes; elles se déplacent sur le disque solaire, et décrivent des parallèles, d'un mouvement d'ensemble, de l'est à l'ouest. Lorsqu'on voit apparaître une tache au bord oriental du Soleil, la vitesse de son déplacement est plus faible que vers le milieu du disque et sa forme est plus allongée. Elle traverse le disque et disparaît au bord occidental au bout de 14 jours environ ; 27 jours après, elle réapparaît au bord oriental. Dans son déplacement de l'est à l'ouest, on reconnaît, par les variations de l'ombre et de la pénombre, que la tache est une *cavité*, un trou dans la surface, tandis que la facule indique une *élévation* par la saillie qu'elle présente au bord extrême du disque lumineux.

On peut tirer deux conclusions importantes des variations de forme des taches suivant leurs positions sur le disque et de leur déplacement dans le sens et pendant le temps indiqués : c'est que le Soleil est une *sphère* et qu'il tourne sur lui-même, de l'est à l'ouest, dans l'intervalle d'environ 25 jours.

Le déplacement du Soleil sur l'écliptique explique pourquoi le temps de la rotation sidérale du Soleil n'est que de 25,35 jours, bien que l'intervalle de temps qui s'écoule entre deux apparitions consécutives d'une même tache au bord oriental soit de 27,25 jours.

137. **Variations, positions et fréquence des taches.**—Les taches subissent des variations très irré-

gulières ; elles apparaissent et disparaissent sans cause connue, et les durées de leur visibilité varient de quelques jours à plusieurs mois ; bien plus, leurs vitesses de rotation ne sont pas les mêmes suivant la latitude ; c'est ainsi que la durée de la rotation sidérale, qui est de 25 jours à l'équateur, peut aller jusqu'à 26, 5 jours à 30° et 27 jours à 40° de latitude, ce qui laisserait croire que le Soleil ne se meut pas tout d'une pièce, mais aurait des vitesses différentes de rotation suivant la latitude.

Les taches n'apparaissent pas toujours également nombreuses sur le disque solaire. Tantôt on n'en voit aucune, tantôt elles sont très nombreuses, jusqu'à 80 à la fois.

Schwabe a découvert une périodicité remarquable dans le nombre des taches ; il s'écoule un intervalle de 11 ans entre deux maxima. A partir d'une année où il n'y en a pas, elles augmentent régulièrement pendant trois ou quatre ans, cessent d'augmenter pendant un an ou deux, et diminuent ensuite pendant environ six années. Le dernier maximum a eu lieu en 1905, et le dernier minimum en 1912 ; le minimum précédent s'était produit en 1901.

Cette période undécennale de variation des taches s'étend à tout le Soleil et même au système solaire ; elle s'applique aux facules, à l'atmosphère solaire et aux éléments du magnétisme terrestre. C'est ainsi que Lamont et Sabine ont montré un parallélisme remarquable entre les variations des taches solaires et les fluctuations quotidiennes de l'aiguille aimantée et les orages magnétiques terrestres, ce qui établit un rapport intime et important entre le Soleil et la Terre.

Enfin, les taches ne sont pas réparties uniformément sur tout le disque solaire ; elles occupent deux grandes zones, appelées *zones royales*, placées de chaque côté de l'équateur, entre les latitudes 5° et 30° environ. C'est entre le 10° et le 15° qu'on en voit le plus. On

n'en a constaté qu'une seule au delà du 45°, et, à l'équateur, on n'en voit presque jamais.

138. **Constitution physique du Soleil.**—L'étude de la constitution physique du Soleil suppose des connaissances assez complètes d'analyse spectrale ; nous renvoyons donc aux traités de Physique le lecteur désireux de se rendre compte des résultats acquis à la science moderne. Comme cette question est loin d'être complètement résolue et qu'il reste encore beaucoup à faire, nous nous contenterons d'esquisser à grands traits ce que l'on peut admettre soit comme certain, soit comme très probable.

Les études spectroscopiques, depuis 1868, nous permettent de croire que le Soleil est une masse incandescente liquide ou solide entourée de toutes parts par une atmosphère de vapeurs en ignition.

La surface extérieure du Soleil, source de la chaleur et de la lumière, a été appelée *photosphère*, et ce serait un océan de nuages formés de particules incandescentes, liquides et solides, en suspension dans un mélange de vapeurs et de gaz.

Les différences de vitesse de rotation du Soleil suivant la latitude ne pouvaient pas se concilier avec une surface solide compacte, comme celle de la Terre ; cet état de surface formée de particules rend possible, en outre, les courants de vapeurs chaudes venant de l'intérieur, qui se condensent en gouttelettes brillantes à la surface pour redescendre ensuite, et dont le grand pouvoir émissif compense les pertes énormes de chaleur dues au rayonnement.

L'atmosphère du Soleil a été révélée par les éclipses totales, alors que le disque opaque de la Lune vient se placer devant l'astre radieux. Grâce à l'obscurité qui se produit, on voit déborder tout autour de la Lune un anneau lumineux formé de deux parties : la *chromosphère* et, au-dessus, la *couronne*.

La *chromosphère*, très brillante, n'est épaisse que de 10" d'arc en moyenne, sa couleur est rose, et l'on voit se détacher d'elle des jets enflammés également roses, semblables à des eruptions volcaniques brillantes, que l'on a appelées *protubérances*.

D'après l'analyse de leur spectre, la chromosphère est surtout constituée par des gaz et les protubérances contiennent en grande partie de l'hydrogène et de l'hélium ; elles s'élèvent quelquefois à des hauteurs égales à un rayon du Soleil, elles prennent des formes extraordinaires, et sont soumises dans leur ensemble, en même temps que les taches, aux variations de la période undécennale.

La *couronne* se montre, dans les éclipses totales, comme une magnifique gloire, une auréole lumineuse comme celles dont les artistes entourent la tête des saints. Ses formes rayonnantes varient suivant qu'on l'observe aux époques des maxima ou des minima des taches solaires. Elle est constituée presque exclusivement par des particules, beaucoup moins brillantes et plus espacées que celles de la photosphère ; il en est de même aussi des particules de la chromosphère.

La partie inférieure de la chromosphère la plus voisine de la surface du Soleil a reçu le nom de *couche renversante ;* elle n'est visible que pendant une ou deux secondes, lors des éclipses totales. C'est pour cette raison que le spectre de cette couche a été appelé par Young *spectre-éclair*. C'est dans cette couche très mince que se trouvent les vapeurs métalliques les plus lourdes, tandis que la chromosphère contient des gaz légers, comme l'hydrogène et l'hélium.

L'examen spectroscopique de l'atmosphère solaire a permis de constater la présence des corps de poids atomique léger, et, en particulier, les métaux, avec quelques métalloïdes, comme le silicium et le carbone. Le fer existe en vapeurs incandescentes dans la partie basse de l'atmosphère solaire, ainsi que le sodium, le

cuivre, le baryum, le calcium, le magnésium, le nickel, etc., tandis que l'on n'a pas trouvé l'or, l'argent et le platine. Il est intéressant de remarquer que l'écorce de la Terre est formée de ces mêmes corps légers. On peut donc déduire de ce fait que la Terre, portée à la même température que le Soleil, c'est-à-dire à 6000°C., présenterait, au spectroscope, les mêmes phénomènes lumineux.

139. **Explication des taches et des facules** — Bien que la nature et la cause première des taches solaires ne soient pas encore bien connues, on peut énoncer, pour leur expliquer, deux théories principales.

D'après l'astronome français Faye, les taches seraient causées par des tourbillons, des mouvements giratoires de l'atmosphère solaire, comme les cyclones de l'atmosphère terrestre.

D'autres, suivant les idées du père Secchi, attribuent les taches et les facules à une cause interne. Des éruptions gazeuses, venant de l'intérieur de la masse solaire, produiraient des soulèvements dans la photosphère, d'où formation de bourrelets brillants qui seraient les facules. Ces mêmes éruptions produiraient aussi des trouées immenses dans la surface du Soleil, lesquelles cavités, laissant voir le centre moins lumineux de l'astre, nous apparaîtraient comme des taches sombres ; ou bien, on pourrait peut-être imaginer que les vapeurs métalliques de la chromosphère se condenseraient par refroidissement sous forme de nuages dans les cavités et joueraient de la sorte le rôle d'écran pour les rayons lumineux, d'où résulterait l'aspect de taches sombres telles qu'on les observe.

LIVRE IV

La Lune

CHAPITRE I

MOUVEMENT DE LA LUNE AUTOUR DE LA TERRE.— PHASES DE LA LUNE.

140. **Orbite de la Lune.**—La Lune est le satellite de la Terre ; elle tourne autour de notre globe, et celui-ci l'entraîne dans son mouvement de révolution autour du Soleil, de sorte que les positions relatives des trois astres varient constamment.

La Lune, comme tous les autres astres, participe au mouvement diurne ; elle a, en plus, un mouvement propre, plus rapide que celui du Soleil ; on la voit, en effet, se déplacer parmi les étoiles d'un arc d'environ 13° par jour, dans le sens *direct*, c'est-à-dire d'occident en orient. On détermine la trajectoire qu'elle décrit sur la sphère céleste en notant tous les jours son ascension droite et sa déclinaison ; la ligne courbe qui joint toutes les positions qu'elle occupe est sensiblement un grand cercle de la sphère céleste dont la Terre est le centre, et qu'elle décrit en 27j. 8h.

141. **L'orbite lunaire est une ellipse.**—La Lune paraît décrire un grand cercle de la sphère céleste, mais il est facile de démontrer qu'en réalité elle trace une ellipse dont la Terre occupe l'un des foyers. La forme de l'orbite lunaire se détermine de la même

manière que celle de l'orbite apparente du Soleil autour de la Terre, en notant les valeurs différentes de son diamètre apparent, suivant la position de l'astre au cours de sa révolution. Si l'on représente chaque jour, par des droites inversement proportionnelles au diamètre apparent, lequel varie de 29'½ à 33'½, la distance qui sépare la Lune de la Terre, la ligne continue qui joint ces distances variables formera une courbe semblable à celle que décrit la Lune autour de la Terre.

Cette courbe est une *ellipse* dont l'excentricité est 0,05 ou 1/18 et dont la Terre occupe l'un des foyers. L'excentricité de l'orbite lunaire surpasse de plus de trois fois celle de l'orbite terrestre ; la courbe lunaire s'éloigne donc plus que cette dernière de la forme circulaire.

Le mouvement de la Lune sur son orbite n'est pas uniforme ; notre satellite est animé d'une vitesse variable soumise à la *loi des aires*, comme la Terre, c'est-à-dire que *les aires décrites par le rayon vecteur de la Lune dans des temps égaux sont égales entre elles.*

Le plan de l'orbite lunaire ne coïncide pas avec celui de l'écliptique ; l'inclinaison du premier sur le second est égale, en valeur moyenne, à 5° 8' 43",3.

142. **Nœuds de l'orbite lunaire.** — La Lune accomplit la moitié de sa révolution au nord de l'écliptique et l'autre moitié au sud, et elle se trouve dans ce plan deux fois par révolution, en deux points opposés ; ces deux points s'appellent les *nœuds* de l'orbite lunaire, analogues aux points équinoxiaux de l'orbite solaire. On désigne sous le nom de *nœud ascendant* le point de l'écliptique par où la Lune passe de l'hémisphère austral dans l'hémisphère boréal ; l'autre est nommé le *nœud descendant.* La ligne qui joint les deux nœuds s'appelle la *ligne des nœuds*, analogue à la ligne des équinoxes.

143. **Déplacement des nœuds de l'orbite lunaire.**—On constate, pour la ligne des nœuds de la Lune, un mouvement de *rétrogradation* analogue à celui de la précession des équinoxes, avec cette différence qu'il est beaucoup plus rapide. Les nœuds de l'orbite lunaire se déplacent en sens contraire du mouvement de la Lune elle-même, c'est-à-dire dans le sens *rétrograde*, de telle sorte qu'un tour entier de l'écliptique s'effectue en 18⅔ ans. On se rappelle (113) que cet intervalle de temps est précisement celui de la nutation de l'axe terrestre.

143 *bis.* **Cause des mouvements irréguliers de la Lune.**—On attribue à l'attraction combinée du Soleil et de la Terre le déplacement des nœuds de l'orbite lunaire, et, comme conséquence, le déplacement de cette orbite dans l'espace, bien que son obliquité reste à peu près invariable.

Il en est de même de la révolution du grand axe de l'orbite lunaire, dans le même sens que le mouvement de la Lune; ce grand axe effectue un tour complet dans l'intervalle d'environ 9 ans.

144. **Forme réelle de l'orbite lunaire.** — La forme de l'orbite lunaire est modifiée par les perturbations qui résultent de l'attraction de la Terre et du Soleil, à tel point que cette orbite n'est pas une courbe plane, ni une courbe fermée. L'orbite lunaire serait une ellipse, si l'on ne considérait que le mouvement relatif de la Lune par rapport à la Terre ; mais cette dernière tourne autour du Soleil pendant que la Lune tourne autour d'elle. Le mouvement absolu de la Lune dans l'espace sera donc le résultat de la combinaison de ces deux mouvements.

On constate alors que la Lune, dans l'intervalle d'un an, a décrit un peu plus de 12 sinuosités, de forme épicycloïdique, dont chacune comprend un arc intérieur et un arc extérieur à l'orbite de la Terre.

145. Conjonction.—Opposition.—Quadratures. —Lorsque la Lune, dans son mouvement de révolution autour de la Terre, passe entre celle-ci et le Soleil, elle est dite en *conjonction* avec l'astre radieux : c'est le commencement de la *lunaison*, la *nouvelle Lune* ou *Néoménie*, et la Lune a même longitude que le Soleil.

Lorsque la Lune est de l'autre côté de la Terre, c'est-à-dire quand la Terre est placée entre la Lune et le Soleil, les longitudes de ces deux astres diffèrent de 180° et la Lune est en *opposition* : c'est l'époque de la *pleine Lune*.

La Lune est en *quadrature* avec le Soleil à son premier et à son dernier *quartier* ; dans ce cas, elle forme avec la Terre et le Soleil un angle droit, la Terre étant au sommet de l'angle.

On donne le nom commun de *syzygies* à la conjonction et à l'opposition, et de *quadratures* au premier et au dernier quartier.

146. Révolution sidérale et révolution synodique de la Lune.—La *révolution sidérale* de la Lune est la durée d'une révolution complète de la Lune autour de la Terre, ou, plus exactement, l'intervalle de temps qui s'écoule entre deux retours consécutifs de la Lune à la même étoile. Sa durée est de 27j. 7h. 43m. 11s.,5.

La *révolution synodique* est le temps qui s'écoule entre deux retours consécutifs de la Lune à la même conjonction. On l'appelle encore *lunaison* ou *mois lunaire* et sa durée est de 29j. 12h. 44m. 2s.,8.

147. Explication de la différence des durées des révolutions sidérale et synodique.—Cette différence s'explique par le mouvement propre du Soleil parmi les étoiles, mouvement qui s'exécute dans le même sens que celui de la Lune.

Considérons la Lune L (fig. 45) en conjonction avec le Soleil S et vis-à-vis, en même temps, d'une certaine

étoile E. La Lune, en partant du point L, reviendra au même point, en face de l'étoile E, après avoir accompli une révolution sidérale, au bout de 27j. 8h. Mais, pendant ce temps, le Soleil n'est pas resté au point S. Il s'est déplacé vers S', d'un arc d'environ 27°, dans le même sens que le mouvement de la Lune; notre satellite, de retour au point L, n'est pas encore en conjonction avec le Soleil et la lunaison n'est pas finie. Il faut 2 jours à la Lune pour parcourir un arc de 27°; de plus, comme le Soleil s'est encore avancé d'un arc de 2° pendant ces 2 jours, il en résulte que la Lune ne sera de nouveau en conjonction, en L', que 29j. 13h environ après la conjonction précédente.

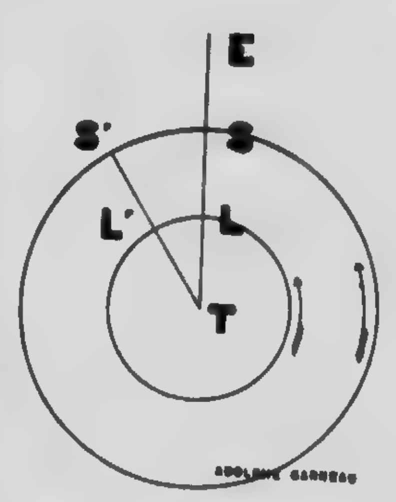


Fig. 45.—Révolutions sidérale et synodique de la Lune.

148. **Phases de la Lune.**—On appelle *phases* de la Lune, les aspects particuliers, connus de tout le monde, qu'elle affecte pendant la durée d'une lunaison.

Quelquefois la Lune est invisible, lorsqu'elle passe entre le Soleil et la Terre: c'est le moment de la *nouvelle Lune* ou le commencement de la lunaison; elle se lève et se couche à peu près en même temps que le Soleil, et l'accompagne, quoique invisible, au-dessus de l'horizon pendant le jour.

Quelques jours après, elle se *renouvelle* sous forme d'un croissant d'abord très mince, mais qui augmente à mesure que l'astre s'éloigne du Soleil; au bout de 7 jours environ, la Lune se présente sous forme d'un demi-cercle éclairé qu'on appelle le *premier quartier*,

et elle se lève vers midi pour se coucher vers minuit.

Le disque de la Lune continue de s'agrandir, et 14 ou 15 jours après l'époque de la conjonction, le disque est complet, et on voit la Lune sous la forme d'un cercle entièrement éclairé : c'est la *pleine Lune*, et elle brille pendant toute la nuit dans le ciel.

A partir de ce moment, le disque lunaire s'échancre, et, 7 ou 8 jours après la pleine Lune, il ne reste plus qu'un demi-cercle éclairé qu'on appelle le *dernier quartier*. La Lune alors se lève vers minuit et se couche vers midi.

Enfin, ce demi-cercle diminue de plus en plus, devient un croissant de plus en plus mince et finit par disparaître complètement : c'est la fin de la lunaison, et la Lune est de nouveau en conjonction pour recommencer la même série de phases.

Pendant tout le cours de la lunaison, les cornes du croissant sont toujours dirigées à l'opposé du Soleil, et la convexité de la partie visible vers l'astre radieux.

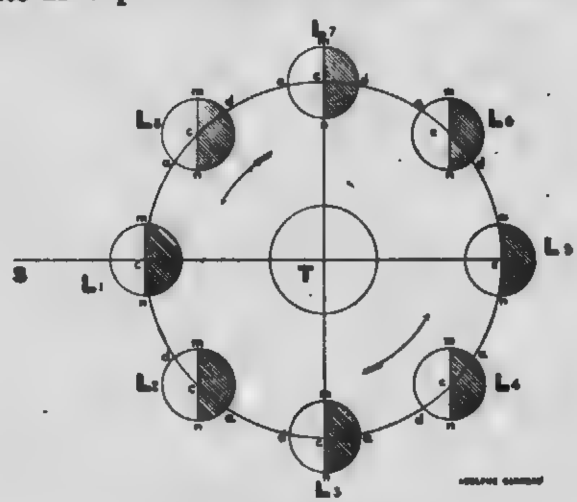


Fig. 46.—Phases de la Lune.

149. Explication des phases de la Lune.—La Lune n'est pas un astre lumineux par lui-même ; la

lumière dont elle brille lui vient du Soleil et elle la réfléchit vers la Terre. De plus, une moitié de la Lune est éclairée à la fois par le Soleil.

Pour plus de simplicité, supposons la Lune occupant successivement les positions L_1, L_2, etc. autour de la Terre, dans le même plan que celui de l'écliptique, et soit le Soleil en S, très loin de la Lune, lançant des rayons à peu près parallèles (fig. 46).

A la conjonction, en L_1 c'est la partie obscure qui est tournée vers la Terre, et la Lune est invisible.

En L_2, l'hémisphère lunaire *d a* tourné vers la Terre n'est pas entièrement éclairé par le Soleil ; la partie *d m* seule est brillante, et l'on voit un croissant plus ou moins délié.

En L_3, une moitié de l'hémisphère tourné vers nous est éclairée, tandis que l'autre est sombre ; on ne voit donc qu'un demi-cercle brillant, et c'est le *premier quartier*.

En L_4, ce demi-cercle s'agrandit, toute la partie *d m* est visible, et, en L_5, tout l'hémisphère éclairé est tourné vers la Terre. On voit alors un cercle lumineux complet, et c'est la *pleine Lune*.

Des explications semblables rendent compte des apparences de la Lune en L_6, L_7 et L_8, jusqu'à une nouvelle conjonction où la Lune redevient invisible.

L'on voit, en résumé, que la Lune, dans son mouvement autour de la Terre, tourne vers nous, tantôt son hémisphère éclairé, tantôt la partie qui est dans l'ombre, tantôt des parties plus ou moins grandes de la surface qui reçoit les rayons du Soleil.

150. **Lumière cendrée.**—Il est évident que la Terre, vue de la Lune, doit présenter des phases comme celles dont la Lune nous offre le spectacle. Seulement, les phases terrestres sont complémentaires de celles de la Lune, de sorte qu'il y a *pleine Terre* pour la Lune lorsque, pour nous, il y a *nouvelle Lune*, et *nouvelle*

Terre, lorsque, à l'opposition, il y a pour nous *pleine Lune*.

Mais la lumière de la *pleine Terre*, réfléchie vers la Lune, est réfléchie de nouveau par cette dernière vers la Terre, et nous fait voir, quelques jours avant ou après la conjonction, tout le disque de la Lune, beaucoup moins brillant, toutefois, que le croissant lumineux directement éclairé par le Soleil. On appelle *lumière cendrée* cette faible illumination d'une partie du disque lunaire, et, ce n'est rien autre chose qu'un *clair de Terre* sur la Lune.

CHAPITRE II

I.—PARALLAXE ET DIMENSIONS DE LA LUNE.—SA DISTANCE À LA TERRE.

131. **Parallaxe de la Lune.**—La parallaxe de la Lune est l'angle sous lequel un observateur, placé au centre de l'astre, verrait le rayon terrestre ; c'est donc le demi-diamètre apparent de la Terre vu du centre de la Lune.

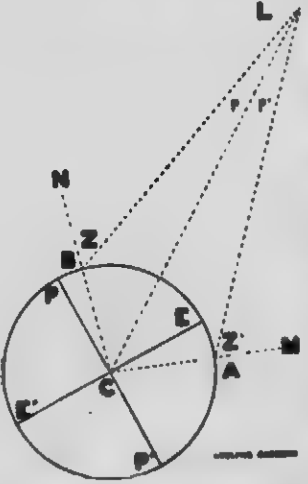


Fig. 47.—Parallaxe de la Lune.

Bien que l'on puisse mesurer la parallaxe de la Lune par le procédé que nous avons déjà décrit pour le Soleil (129), nous allons exposer une méthode plus précise qui permet de calculer la parallaxe *horizontale* de notre satellite (fig. 47).

Supposons deux observateurs placés sur un même méridien, l'un en B, l'autre en A. L'angle B C A est la

somme des latitudes des deux stations. Pour la station B, la parallaxe de hauteur de la Lune L est p, et, pour la station A, la parallaxe de hauteur du même astre est p'. Les deux observateurs mesurent les distances zénithales de la Lune z et z' au moment du passage de l'astre au méridien. Le calcul suivant permettra de trouver, avec ces données, la parallaxe horizontale P de la Lune.

On pourra poser :

$$\begin{aligned} z &= BCL + p \\ z' &= ACL + p' \\ \hline z + z' &= BCA + p + p' \end{aligned}$$

c'est-à-dire,

$$p + p' = z + z' - BCA. \qquad (1)$$

Nous avons déjà vu (128) que :

$$\begin{aligned} p &= P \sin z \\ p' &= P \sin z'. \end{aligned}$$

En additionnant membre à membre, il vient :

$$p + p' = P (\sin z + \sin z'). \qquad (2)$$

Si nous remplaçons dans l'expression (2) $p + p'$ par sa valeur dans l'expression (1), on obtient :

$$P (\sin z + \sin z') = z + z' - BCA,$$

et enfin,

$$P = \frac{z + z' - BCA}{\sin z + \sin z'} = 57' 2'',7.$$

Cette valeur est celle de la parallaxe horizontale équatoriale moyenne de la Lune ; la parallaxe lunaire varie entre 52' et 62'.

152. **Dimensions de la Lune.** — Il faut d'abord chercher la valeur du rayon de la Lune considérée comme sphérique.

On voit par la figure 48 que le demi-diamètre apparent de la Terre T vu de la Lune (parallaxe horizontale) est égal à 57'2", 7 ; de plus, le demi-diamètre apparent de la Lune vu de la Terre vaut 15' 33". Comme les demi-diamètres apparents sont proportionnels aux valeurs réelles des rayons R et r de la Terre et de la Lune, on pourra poser :

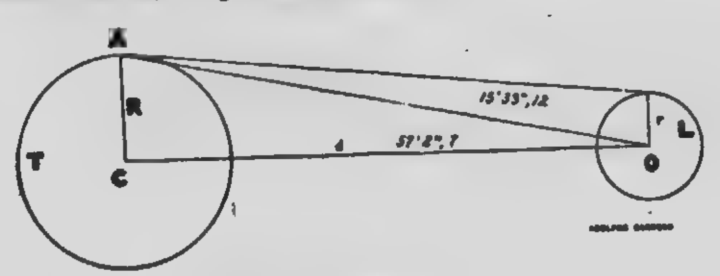


Fig. 48.—Dimensions de la Lune.

$$\frac{r}{R} = \frac{15'33''}{57'2'',7},$$

d'où,

$$r = 0{,}27\ R, \text{ ou sensiblement } \tfrac{3}{11}\ R.$$

En unités de longueur, le rayon de la Lune est égal à 1736,6 kilomètres, ou environ 360 lieues anglaises.

En adoptant le même raisonnement que pour le Soleil, on trouve que la surface de la Lune est égale à $\frac{1}{14}$, celle de la Terre étant 1, et le volume, dans les mêmes conditions, est égal à $\frac{1}{50}$ environ.

La surface de la Lune vaut 38 millions de kilomètres carrés, soit un peu moins de $\frac{1}{4}$ fois la superficie de l'Europe.

Le volume de la Lune est évalué à 22 milliards de kilomètres cubes. Il faudrait 50 Lunes pour faire une sphère de la grosseur de la Terre, et 70 millions pour remplir le volume du Soleil.

La masse de la Terre étant 1, celle de la Lune est représentée par $\frac{1}{81}$, ce qui donne comme densité moyenne

0,6 de celle de la Terre et 3,33 fois celle de l'eau.—A l'équateur lunaire, la pesanteur est 0,166 de la pesanteur à l'équateur terrestre.

153. **Distance de la Lune à la Terre.**—Si l'on désigne par *d* la distance C O des centres des deux astres (fig. 48), le triangle rectangle A C O donne :

$$R = d \operatorname{tg} 57'2'',7,$$

d'où,

$$d = \frac{R}{\operatorname{tg} 57'2'',7} = 60\,R.$$

En raison de l'excentricité de l'orbite lunaire, la distance de la Lune à la Terre varie entre 57 et 64 fois le rayon terrestre.

D'une manière plus exacte, la distance moyenne de la Lune à la Terre, exprimée en rayons terrestres équatoriaux, est représentée par le nombre 60,26654 ; en kilomètres, cette distance est ?84,395, ou environ 80,000 lieues anglaises.

Cette longueur de 80,000 lieues est à peu près 9½ fois la circonférence de la Terre ; un train de chemin de fer, animé d'une vitesse de 20 lieues à l'heure, franchirait cette distance en 166 jours, c'est-à-dire en 5 mois et demi, le son prendrait 13j. 8h., un boulet de canon, à 500 mètres de vitesse initiale, 9 jours environ, et la lumière, 1¼ seconde.

Enfin, la Lune tomberait sur la Terre en 6j. 5h. 40m. 13s.

II.—ROTATION DE LA LUNE SUR ELLE-MÊME.—CONSTITUTION PHYSIQUE DE LA LUNE.

154. **Rotation de la Lune sur elle-même.**—Si l'on examine la Lune dans le cours de ses révolutions successives, on reconnait, par l'examen des aspérités, montagnes, mers qui couvrent sa surface, qu'elle pré-

sente toujours le même hémisphère à la Terre ; l'autre est constamment invisible. De ce fait on peut déduire une double conclusion : 1° c'est que la Lune tourne sur elle-même ; 2° que la durée de sa rotation est précisément égale à celle de sa révolution sidérale, et que les deux mouvements se font dans le même sens.

Considérons (fig. 49) la Lune se portant, dans sa révolution autour de la Terre T, de L en L'. Examinons, de plus, une tache quelconque *a*, qui nous apparaît au centre du disque lunaire, dans la position L de la Lune. Si la Lune, en se déplaçant de L en L' d'un angle LTL', ne tournait pas en même temps sur elle-même, le rayon lunaire L*a* resterait parallèle à lui-même suivant L*a'*, et, dès lors, la tache *a*, au lieu d'être en *a''* au centre du disque, serait vue en *a'*, à l'est du centre.

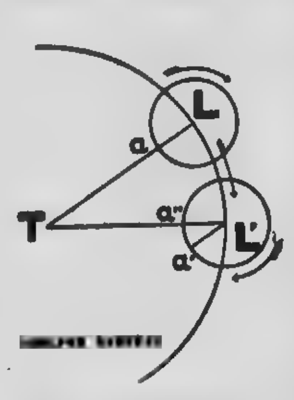


Fig. 49. — Rotation de la Lune sur elle-même.

Or, dans la deuxième position L' de la Lune, la tache paraît encore au centre du disque, en *a''*. Il faut donc admettre que la Lune a tourné sur elle-même d'un angle *a'*L'*a''*, précisément égal à LTL', c'est-à-dire l'angle dont elle a tourné autour de la Terre.

Il est donc nécessaire, pour que la Lune nous présente toujours le même hémisphère, qu'elle tourne sur elle-même dans le même sens que celui de son mouvement de révolution, et que la durée de sa rotation soit rigoureusement égale à celle de sa révolution sidérale, c'est-à-dire 27j. 7h. 43m. 11s.,5.

L'axe de rotation de la Lune est incliné de 88° 28' 38'' sur l'écliptique et de 83°½ environ sur le plan de l'orbite lunaire.

Remarque. — L'égalité rigoureuse des durées de la

rotation et de la révolution lunaires n'est vraie que pour la rotation et la révolution entières. La plus petite différence entre ces durées s'ajouterait à elle-même d'année en année et de siècle en siècle, et l'on finirait, contrairement à l'observation, par voir la surface totale de la Lune.

Il n'en est pas ainsi pour des intervalles de temps plus ou moins longs d'une même rotation et d'une même révolution, parce que, conformément à la loi des aires, le mouvement de la Lune sur son orbite est varié, avec une vitesse maximum au périgée et minimum à l'apogée, tandis que le mouvement de rotation est uniforme. La vitesse de ce dernier sera donc tantôt plus grande, tantôt plus petite que la vitesse de l'autre.

155. **Librations.**—On appelle *libration* un certain balancement apparent de la Lune en vertu duquel certaines parties de sa surface semblent appartenir successivement à l'hémisphère visible et à l'hémisphère invisible à la Terre. La Lune ne nous présente donc pas toujours exactement la même face, et l'on peut voir un peu plus que la moitié de sa surface totale.

Ce phénomène de la libration est dû à trois causes distinctes. Il y a, par ce fait, trois librations:

1° La *libration en longitude*, qui résulte de l'inégalité, dans les phases successives d'une révolution sidérale, entre la vitesse de la rotation et la vitesse de l'astre sur son orbite. Cette libration nous permet de découvrir, au delà de chaque bord oriental et occidental de la Lune, un fuseau lunaire de 8°.

2° La *libration en latitude*, causée par le fait que l'axe de rotation de la Lune n'est pas perpendiculaire sur le plan de son orbite, mais fait avec ce plan un angle d'environ 83°. Sa valeur peut atteindre 6° 50'.

3° La *libration diurne*, due à cette circonstance que l'observateur, à cause de la rotation terrestre, se déplace par rapport à la Lune. Elle vaut à peu près 1° 2'.

On calcule que, par suite de ces trois librations, on peut voir 59 pour 100 de la surface totale de la Lune.

156. **Constitution physique de la Lune.**—La Lune est un corps opaque qui réfléchit la lumière du Soleil. La composition de sa surface paraît être la même que celle des roches les plus communes de la surface terrestre. On croit, en effet, que les roches qui constituent l'écorce terrestre, placées dans les mêmes conditions que les matériaux qui forment la surface lunaire, produiraient sensiblement le même éclat que les parties éclairées de la Lune.

La surface lunaire comprend deux parties d'aspects bien différents et qui se partagent à peu près également, en étendue, la surface du disque lunaire.

On remarque, en premier lieu, des surfaces grisâtres, peu profondes et ordinairement planes, que l'on a appelées les *mers* de la Lune, bien qu'on n'y ait jamais observé aucune trace d'eau.

Entre les mers, on voit des *montagnes* sous forme de massifs étendus, hauts de 2,000 mètres environ, avec quelques sommets plus élevés. Il y a, de plus, outre quelques montagnes isolées, des chaînes d'où se détachent des pics très élevés.

Les parties montagneuses de la Lune sont les plus brillantes.

Au milieu des plaines lunaires et surtout dans les montagnes, on aperçoit d'immenses bassins, de forme ordinairement circulaire, limités par une muraille à pente très prononcée, quelquefois verticale. On a désigné sous le nom de *cirques*, les dépressions de grandes et moyennes dimensions; les plus petites sont les *cratères*.

Les cirques ont des dimensions qui peuvent atteindre jusqu'à 200 kilomètres ou plus en diamètre.

Le diamètre des cratères ne dépasse pas 30 kilomètres; leur ouverture est circulaire et ils brillent d'un grand éclat.

On voit souvent des pics ou *pitons* à l'intérieur des cirques (fig. 50); leur hauteur est presque toujours inférieure au rempart de la cavité, et le fond de celle-ci est assez souvent plus bas que le niveau général de l'astre.

Les rayons du Soleil éclairent vivement les bords de la cavité qui lui sont opposés; l'autre muraille est plongée dans l'ombre.

Ce sont les montagnes de la Lune, les cirques et les cratères, qui donnent au bord rectiligne du disque, à l'époque du premier et du dernier quartier, l'apparence de nombreuses dentelures. C'est le moment le plus favorable pour observer les aspérités dont le sol lunaire est criblé.

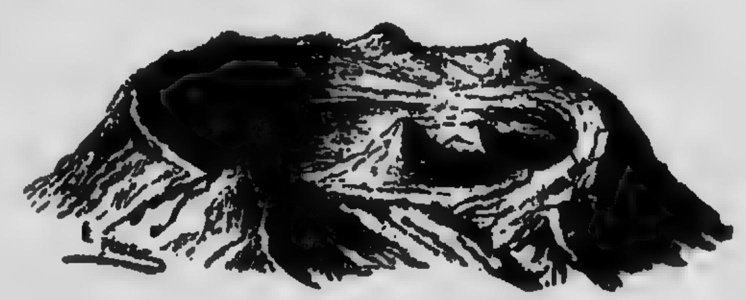


Fig. 50.—Cirque lunaire.

Les montagnes de la Lune sont relativement plus élevées que celles de la Terre, de même que les cirques lunaires ont des dimensions généralement plus considérables que les cirques terrestres.

Par des procédés basés sur l'observation des ombres, on a mesuré la hauteur de plus de 1,100 montagnes sur la Lune. Le pic de Newton a 7,250m. de hauteur, Casatus 6,800m., et Leibnitz, probablement le pic le plus élevé de la partie visible de la Lune, 8,200m.

Il y a, enfin, sur la surface de la Lune, des rainures ou sillons très étroits, ordinairement rectilignes, et se terminant sur le contour des cratères. Ces sillons sont très brillants lorsqu'on les voit en face, à la pleine Lune,

tandis que, aux autres phases, à cause de l'ombre que les bords projettent sur le fond, ils paraissent sombres (1).

157. **Absence d'air et d'eau à la surface de la Lune.**—La Lune n'a pas d'atmosphère, du moins aucun indice certain n'en révèle l'existence ; bien au contraire, des preuves particulières en démontrent l'absence.

1° Une atmosphère autour de la Lune donnerait lieu à des phénomènes de réfraction; lorsqu'une étoile, par exemple, passe derrière la Lune, la durée de l'occultation devrait être diminuée, à cause de la déviation des rayons lumineux par l'atmosphère lunaire. Or, rien de tel n'a été constaté; la durée de l'occultation qui résulte du calcul est toujours égale à celle de l'occultation déduite de l'observation directe.

2° On constate qu'il y a sur la Lune passage brusque de la lumière à l'ombre, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de *crépuscule ;* il ne peut donc y avoir d'atmosphère.

L'absence d'atmosphère entraîne nécessairement l'absence d'eau, parce que celle-ci ne peut exister à l'état liquide sans pression atmosphérique ; l'eau formerait alors une atmosphère en se réduisant en vapeurs.

Il résulte de ce que nous venons de voir que la vie, telle qu'elle est sur la Terre, est impossible sur la Lune.

Sans eau, il ne peut y avoir de végétation ; sans air, il ne peut y avoir de vie pulmonaire, de même qu'il n'y a ni son, ni bruit.

Les conditions climatériques sont aussi bien différentes des nôtres. Le jour solaire, sur la Lune, est égal à une lunaison, et l'intervalle entre le lever et le coucher du Soleil vaut 15 de nos jours. Comme il n'y a pas d'atmosphère pour diffuser la lumière, le Soleil brille sur un ciel noir qui paraît parsemé d'étoiles.

Le passage du jour à la nuit se fait sans crépuscule. Rien ne tempère l'ardeur des rayons solaires pendant 15

(1) *Annuaires du Bureau des Longitudes* pour 1911 et 1912.

jours, et, pendant une nuit d'égale longueur, le rayonnement nocturne, dans un ciel sans nuages et sans vapeur d'eau, se fait avec une extrême rapidité. Aussi admet-on que la température, vers le milieu du jour lunaire, dépasse 100° C. et descend à —50° pendant la nuit.

158. **Lune rousse.**—C'est la Lune qui commence en avril pour finir en mai. En 1913, elle commence le 6 avril et se termine le 6 mai. On lui a donné le nom de *Lune rousse*, parce que, d'après le préjugé populaire, elle serait la cause des gelées qui détruisent les jeunes bourgeons des arbres et les font *roussir*. Il est presque inutile de dire que ces gelées sont dues au rayonnement nocturne, lequel est très accentué lorsque le ciel est sans nuages ; la Lune est donc la spectatrice innocente et non la cause des dégâts produits.

159. **Comput ecclésiastique.**—Il nous faut maintenant revenir sur la question du calendrier qu'il était difficile de compléter avant d'avoir étudié les mouvements de la Lune.

On appelle *comput ecclésiastique* un ensemble de règles fondées sur les mouvements combinés du Soleil et de la Lune et servant à déterminer d'avance la date de la fête de Pâques, et, par suite, les dates des autres fêtes mobiles de l'Eglise catholique.

160. **Détermination de la fête de Pâques.**—D'après les règles posées par le concile de Nicée, en 325, la fête de Pâques doit se célébrer le premier dimanche après la pleine Lune qui suit l'équinoxe du printemps, lequel est fixé invariablement au 21 mars. Pâques peut arriver au plus tôt le 22 mars et au plus tard le 25 avril.

La détermination de la fête de Pâques se fait au moyen du *nombre d'or*, de l'*épacte*, de la *lettre dominicale* et du *cycle solaire* ; on calcule le quantième de la Lune par l'épacte et celle-ci se trouve par le nombre

d'or ; le cycle solaire et la lettre dominicale permettent de déterminer le jour du dimanche.

161. **Nombre d'or.**—Méton, à Athènes, avait remarqué que les dates des nouvelles Lunes revenaient les mêmes après une période de 19 années. Cette période a été appelée *cycle lunaire* ou *cycle de Méton*. Le *nombre d'or* est le numéro d'ordre ou le rang d'une année quelconque du cycle lunaire. Cette dénomination de nombre d'or est due au fait que le rang de chaque année du cycle était gravé en lettres d'or sur les places publiques d'Athènes.

162. **Epacte.**—On désigne sous le nom d'*âge de la Lune* le nombre de jours écoulés depuis le commencement de la lunaison ; l'*épacte* est l'âge de la Lune au premier janvier ; elle résulte de la différence de 11 jours entre l'année solaire et l'année lunaire. En 1911, la Lune était nouvelle au 1er janvier et l'épacte était zéro ; en 1912, la Lune avait 11 jours à la même date ; l'épacte de cette année a donc été 11. Celles des années suivantes s'obtiennent en ajoutant 11 aux épactes précédentes et en retranchant 30, si la somme dépasse ce chiffre.

163. **Lettre dominicale.**—On appelle *lettre dominicale* d'une année l'une des sept premières lettres de l'alphabet qui indique, dans le calendrier perpétuel, le dimanche pour toute l'année.

164. **Cycle solaire.**—La lettre dominicale change d'une année à l'autre ; mais on a remarqué que les lettres dominicales se suivent dans le même ordre et les jours de la semaine reviennent aux mêmes dates après une période de 28 ans : cette période porte le nom de *cycle solaire*.

165. **Indiction romaine.**—On appelle ainsi une période de 15 années, indépendante des mouvements

de la Lune et du Soleil, et encore parfois en usage à Rome.

REMARQUE.—Il est important de noter que la date de la fête de Pâques est déterminée par ce qu'on appelle la *nouvelle Lune ecclésiastique*, calculée d'après l'épacte, suivant les règles du comput. Cette Lune n'est pas la véritable nouvelle Lune astronomique, laquelle commence à l'instant précis de la conjonction, tandis que l'autre ne se compte qu'à partir du moment où le croissant de la Lune redevient visible, environ deux jours plus tard. C'est pour cela qu'il n'y a que 13 jours entre la nouvelle Lune ecclésiastique et la pleine Lune suivante.

Il résulte de cette manière de calculer que le terme pascal, c'est-à-dire la pleine Lune du printemps qui fixe la date de Pâques, peut différer de 3 jours avec la pleine Lune vraie.

En 1903, Pâques aurait dû être célébré le 19 avril au lieu du 12, si l'on avait appliqué les règles pascales à la Lune vraie. En 1780, l'écart aurait été plus considérable, et la date de Pâques, qui fut le 26 mars, aurait été le 23 avril.

CHAPITRE III

ÉCLIPSES DE SOLEIL ET DE LUNE

166. **Phénomène général des éclipses.**— Un astre est dit s'éclipser lorsqu'il perd son éclat en totalité ou en partie.

La Terre et la Lune sont deux corps sphériques opaques, et beaucoup plus petits que l'astre radieux qui les éclaire. Il en résulte que la Terre et la Lune, à l'opposé du Soleil, projettent dans l'espace une ombre conique, appelée *cône d'ombre* qui comprend tous les points de

l'espace complètement privés de lumière. On voit dans la figure 51 que ces cônes d'ombre sont engendrés par la rotation d'une tangente commune au Soleil et à la Terre ou à la Lune.

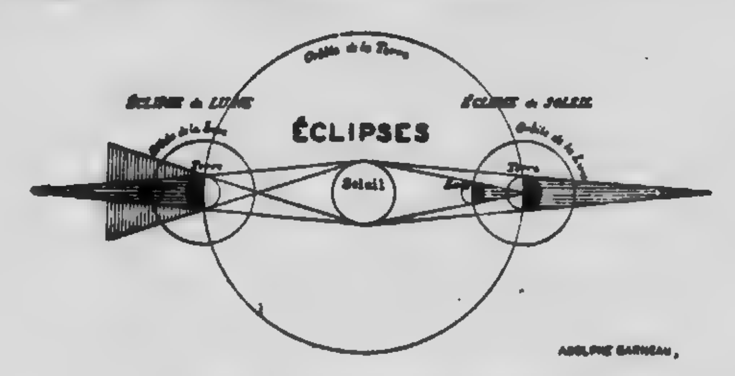


Fig. 51.—Phénomène des éclipses.

Ce cône d'ombre est entouré d'une enveloppe également conique, appelée *pénombre*, composée d'un mélange d'ombre et de lumière, produite par la rotation d'une tangente intérieure, et dans les limites de laquelle on ne voit qu'une partie de l'astre radieux.

Le phénomène des éclipses a lieu lorsque, dans la série de leurs mouvements, la Lune passe devant le Soleil et le cache complètement ou en partie, ou bien quand la Terre intercepte la lumière que la Lune recevait du Soleil; en d'autres termes, les éclipses se produisent lorsque la Terre et la Lune projettent leur cône d'ombre l'une sur l'autre.

167. **Deux espèces d'éclipses.** — On distingue deux espèces d'éclipses: *les éclipses de Soleil et les éclipses de Lune.*

Il y a *éclipse de Soleil* lorsque la Lune, en passant entre la Terre et le Soleil, cache ce dernier complètement ou en partie, ce qui a lieu pour les points de la surface terrestre atteints par le cône d'ombre de la Lune.

Il y a *éclipse de Lune* lorsque la Terre vient se placer entre le Soleil et la Lune, et arrête les rayons de lumière que celle-ci recevait du Soleil, en d'autres termes, lorsque la Lune passe dans l'ombre de la Terre, comme on le voit dans la figure 51.

168. **Conditions générales nécessaires à la production des éclipses.**—Il est facile de voir qu'une éclipse de Soleil ne peut avoir lieu qu'à la *conjonction* ou à la *nouvelle Lune*, et une éclipse de Lune qu'à l'*opposition*, ou à la *pleine Lune*, c'est-à-dire lorsque les trois astres sont en ligne droite. Pourquoi, dès lors, n'y a-t-il pas éclipse de Soleil à chaque nouvelle Lune et éclipse de Lune à chaque opposition ?

Nous avons déjà vu que la Lune ne décrit pas son orbite dans le plan de l'écliptique, ou le plan de l'orbite terrestre, mais que le plan de l'orbite lunaire fait avec ce dernier un angle d'environ 5°; nous savons, en outre, que la Lune, décrivant son orbite tantôt au-dessus, tantôt au-dessous de l'écliptique, passe deux fois dans ce plan par lunaison, en deux points que nous avons appelés les *nœuds* de l'orbite lunaire.

Cela posé, il est évident, d'une part, que si, à l'époque des syzygies, la Lune était toujours à l'un ou dans le voisinage de l'un de ses nœuds, les trois astres seraient en ligne droite, et il y aurait toujours deux éclipses par lunaison, l'une de Soleil et l'autre de Lune.

Si, d'autre part, les nœuds de la Lune ne coïncidaient jamais avec les phases des syzygies, mais, par exemple, avec les quadratures, il n'y aurait jamais d'éclipses, parce que, à la conjonction et à l'opposition, la Lune serait au-dessus ou au-dessous du plan de l'orbite terrestre et les trois astres ne seraient pas en ligne droite.

L'un ou l'autre de ces deux cas extrêmes se présenterait, si le plan de l'orbite lunaire n'avait aucun déplacement dans le plan de l'écliptique.

Or, l'on sait que la ligne des nœuds de l'orbite lunaire

tourne dans le plan de l'écliptique et fait un tour complet en 18⅔ ans.

Les éclipses pourront donc avoir lieu lorsque, par suite de la combinaison des mouvements de la Lune sur son orbite et de la ligne des nœuds, *ceux-ci coïncideront, ou à peu près, avec les phases des syzygies.* Voilà pourquoi les éclipses sont relativement rares, et pourquoi aussi on peut les prédire et calculer l'instant précis où elles se produisent.

169. **Eclipses de Soleil.**—Il y a trois sortes d'éclipses de Soleil.

1° L'éclipse de Soleil est *totale* lorsque le disque radieux, entièrement recouvert par le disque obscur de la Lune, disparaît en entier.

2° L'éclipse est *partielle* lorsque, le disque obscur de la Lune ne recouvrant qu'une partie du Soleil, celui-ci paraît plus ou moins échancré.

3° L'éclipse est *annulaire* lorsque, le disque obscur de la Lune n'étant pas assez grand pour cacher entièrement le Soleil, celui-ci déborde tout autour sous forme d'un anneau lumineux.

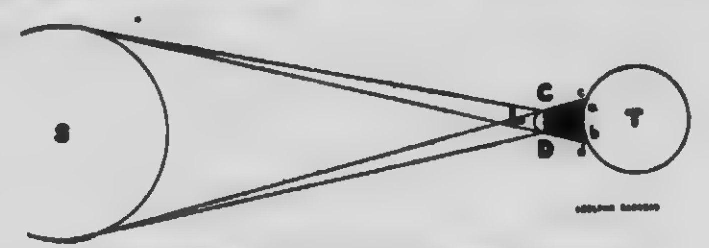


Fig. 52.—Eclipses totale et partielle de Soleil.

Autrement dit, il y a éclipse *totale* pour tout observateur placé en *a b*, où l'extrémité du cône d'ombre de la Lune atteint la Terre, et éclipse *partielle* pour tout observateur placé en *c a* et *b d*, dans la pénombre ; la partie visible du Soleil paraîtra d'autant plus réduite que l'on sera placé plus près de l'ombre pure (fig. 52).

Si, à cause des distances relatives variables des trois astres, le cône d'ombre de la Lune n'est pas assez long pour atteindre la Terre (fig. 53), le disque obscur de la Lune recouvrira la partie centrale du Soleil pour tout observateur situé en *a b*, sur le prolongement du cône d'ombre, et l'astre du jour paraîtra déborder tout autour sous forme d'un anneau brillant : il y aura alors éclipse *annulaire.*

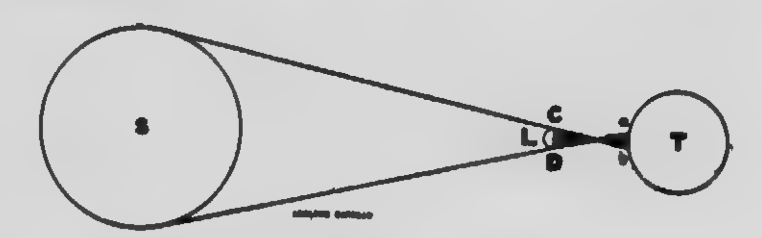


Fig. 53.—Eclipse annulaire.

170. **Eclipses de Lune.**—On distingue deux sortes d'éclipses de Lune : les unes sont *totales* et les autres [redacted] *partielles.*

L'éclipse de Lune est *totale* lorsque l'astre des nuits pénètre complètement dans le cône d'ombre de la Terre, comme en L ; l'éclipse sera *partielle,* si la Lune n'y entre qu'en partie.—Dans la pénombre, la diminution d'éclat de la Lune est peu sensible (fig. 54).

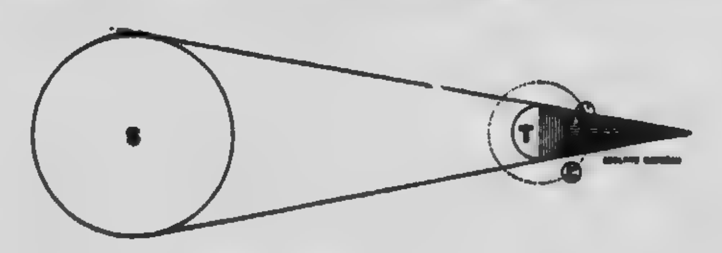


Fig. 54.—Eclipses de Lune.

171. **Longueur des cônes d'ombre de la Terre et de la Lune.**—Nous avons vu que les éclipses de Soleil ou de Lune ne peuvent avoir lieu que si la Lune est en conjonction ou à l'opposition, et si elle est dans le voisinage de l'un de ses nœuds. La possibilité des éclipses demande aussi que le cône d'ombre projeté par la Lune ait une longueur suffisante pour atteindre la Terre, et que le cône d'ombre de la Terre soit plus long que la distance de notre globe à la Lune. Voici comment on peut calculer la longueur du cône d'ombre de la Terre (fig. 55):

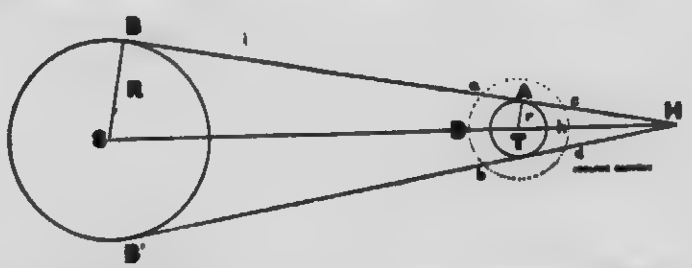


Fig. 55.—Mesure de la longueur du cône d'ombre de la Terre.

Soient R et r les rayons du Soleil et de la Terre, D la distance des deux astres, et h la longueur cherchée du cône d'ombre. Les triangles semblables BSH et ATH fournissent la relation suivante :

$$\frac{R}{r} = \frac{D + h}{h},$$

d'où

$$h = \frac{rD}{R - r},$$

On trouve pour h, la longueur du cône d'ombre de la Terre, la valeur moyenne 216 r, c'est-à-dire 216 fois le rayon terrestre.

Nous avons vu plus haut que la distance moyenne de la Terre à la Lune est égale à 60 fois le rayon ter-

restre (153) ; il est donc évident que la Lune peut passer dans l'ombre de la Terre et s'y éclipser.

On démontre également que la largeur du cône d'ombre, à la distance de la Terre à la Lune, est plus de deux fois le diamètre de celle-ci. La Lune peut donc être immergée complètement dans l'ombre, la durée de l'immersion étant évaluée à près de 2 heures.

Pendant une éclipse totale, la Lune subit une diminution considérable d'éclat, mais ne disparaît pas entièrement ; elle reste éclairée d'une faible lueur où domine une teinte rougeâtre.

Ce phénomène s'explique par le fait que, à cause de la réfraction atmosphérique terrestre, le cône d'ombre *pure* de la Terre est réduit à 42 fois le rayon terrestre, longueur plus courte que la distance de la Terre à la Lune. Cette dernière, dans les éclipses totales, passe donc au delà de la partie entièrement obscure du cône d'ombre ; elle reçoit les rayons du Soleil déviés par la réfraction atmosphérique, et, en particulier, les rayons rouges qui n'ont pas subi d'absorption dans l'air humide qui avoisine la Terre.

Par un procédé analogue au précédent, on démontre que la longueur du cône d'ombre de la Lune varie entre 57,5 et 59,5 fois le rayon terrestre. Comme la distance de la Terre à la Lune est comprise entre 56 et 64 fois le rayon de la Terre, on voit que le cône d'ombre lunaire pourra être tantôt plus court, tantôt plus long que la distance des deux astres, ce qui rend possibles, par suite, les éclipses annulaires et les éclipses totales.

172. **Prédiction des éclipses.**—Les astronomes possèdent des moyens très précis de calculer longtemps à l'avance la date des éclipses. Les Chaldéens, chez les anciens, pouvaient approximativement prédire le retour des éclipses de Lune au moyen d'une période de 18 ans 11 jours, appelée *saros*, au bout de laquelle les éclipses se reproduisent dans le même ordre. Au début de chaque

période de 18 ans 11 jours, les positions relatives des nœuds de l'orbite lunaire, de la Lune et du Soleil sont à peu près les mêmes. Les éclipses qui ont lieu dans chacune des périodes successives seront donc vues dans le même ordre.

On compte, dans cette période, 70 éclipses, 41 de Soleil et 29 de Lune.

Il ne peut y avoir plus de 7 éclipses par année (5 ou 4 de Soleil, 2 ou 3 de Lune). Le minimum est 2, et, dans ce cas, ce sont deux éclipses de Soleil.

173. **Fréquence et visibilité des éclipses de Soleil et de Lune.**—Nous venons de dire qu'il y a plus d'éclipses de Soleil que d'éclipses de Lune, pour l'ensemble de la Terre. Il suffit, pour se rendre compte de ce fait, de considérer qu'une éclipse de Soleil est possible lorsque la Lune traverse le cône BHB' (fig. 55), circonscrit au Soleil et à la Terre, en *a b*, tandis qu'une éclipse de Lune exige que celle-ci traverse le même cône en *c d*. Comme la section de ce cône est plus grande au premier endroit qu'au deuxième, on voit que les éclipses de Soleil ont plus de chances de se produire que les éclipses de Lune, et, en réalité, elles ont lieu plus fréquemment, à peu près dans le rapport de 3 à 2.

Pour un lieu déterminé, les éclipses de Lune sont observées plus souvent que les éclipses de Soleil.

Les éclipses de Lune, en effet, sont visibles à la fois par tout un hémisphère, à tous les endroits pour lesquels la Lune est au-dessus de l'horizon, tandis que les éclipses de Soleil ne peuvent être aperçues qu'en des localités très restreintes de notre globe, et successivement d'un endroit à un autre, là seulement où l'ombre de la Lune atteint le sol. L'extrémité du cône d'ombre lunaire fait sur la Terre une tache sombre d'une cinquantaine de lieues au plus de diamètre, et il n'y a que les observateurs placés dans cette ombre qui puissent être témoins de l'éclipse. Par suite des mouvements combinés de la

Terre et de la Lune, cette tache sombre se promène sur les continents et les mers, de sorte que ceux qui se trouvent sur son passage, pendant quelques minutes seulement, aperçoivent le phénomène.

La durée d'une éclipse totale de Soleil n'excède pas 5 à 6 minutes.

Dans tout le 20e siècle, il n'y a que deux éclipses totales visibles près de Paris, l'une, plutôt annulaire, qui a eu lieu le 17 avril 1912, et l'autre qui se produira le 11 août 1999.

Au Canada, pendant ce 20e siècle, il n'y a que trois éclipses totales de Soleil, le 30 août 1905, le 9 juillet 1945 et le 30 juin 1954.

174. **Phénomènes particuliers aux éclipses de Soleil.** —Une éclipse du Soleil est un des plus beaux phénomènes que l'on puisse voir. A part l'obscurité imposante qui se produit, lorsque le Soleil est complètement caché par le disque obscur de la Lune, et qui permet d'apercevoir les étoiles et les planètes, on voit jaillir la *couronne*, splendide auréole lumineuse à formes rayonnantes, et les *protubérances solaires*, ces nuages roses d'hydrogène incandescent. Les physiciens profitent des moments très courts des éclipses totales pour étudier la couronne, sa forme, variable comme nous l'avons déjà dit (138) avec les périodes des maxima et minima des taches solaires, et sa composition physique et chimique, au moyen du spectroscope. Ces études de la couronne, de la chromosphère, de la couche renversante, sont de la plus haute importance pour la solution du grand problème de la constitution physique du Soleil.

On a remarqué que, pendant la totalité, la température baisse sensiblement et que les oiseaux, les insectes gagnent leurs gîtes comme à l'approche de la nuit.

CHAPITRE IV

LES MARÉES

175. **Phénomène des marées.**—Nous admettrons plus loin avec Newton, en étudiant le principe de la gravitation universelle, une force attractive qui s'exerce entre les astres. L'attraction entre deux astres comme la Terre et la Lune est toujours réciproque, et l'attraction de la Lune, en particulier, se fait sentir sur les eaux de l'océan ; le flot soulevé de la mer envahit les rivages et refoule l'eau des fleuves.

Sur les plages de l'océan, on voit le niveau de l'eau monter, et à 12h. 25m. d'intervalle, le *flot* ou le *flux* atteint son maximum de hauteur : c'est l'instant de la *haute mer* ou de la *marée haute.*

Après 6 heures environ de marée montante, au flot succède le *jusant* ou le *reflux*, le niveau de l'eau baisse, la mer abandonne la plage et revient au point de départ : c'est la *basse mer* ou *marée basse.*

En général, il n'y a pas égalité entre les durées du flot et du reflux ; la mer baisse plus longtemps qu'elle ne monte, et la différence des durées varie avec les ports de mer.

L'intervalle entre deux hautes mers qui se suivent est de 12h. 25m., et, d'un jour à l'autre, la pleine mer est en retard de 50 minutes sur la précédente. Il est remarquable de constater que ce retard de 50 minutes par 24 heures est précisément le retard quotidien des passages successifs de la Lune au méridien, ce qui prouve que le phénomène des marées est entièrement lié au mouvement de la Lune autour de la Terre.

Le retard de la haute mer s'accumule de jour en jour et produit un retard total de 12 heures en 14¾ jours, et de 24 heures ou un jour complet en 29 jours et demi, c'est-à-dire au bout d'une lunaison.

Il en résulte que, de 15 en 15 jours, les marées du matin deviennent celles du soir et réciproquement, et que, de plus, après une lunaison, les heures coïncident de nouveau.

176. **Grandes marées, mortes eaux.** — Deux fois par mois, le niveau de la marée montante atteint une plus grande hauteur que les jours précédents, et ce maximum arrive lorsque la Lune est en conjonction ou à l'opposition, c'est-à-dire aux phases des syzygies : ces marées portent le nom de *grandes marées* ou *marées des syzygies*. A l'époque des *quadratures*, au contraire, le niveau de l'eau, au moment de la pleine mer, reste plus bas qu'à la nouvelle et à la pleine Lune : ce sont les *petites mers*, ou *mortes mers*, ou encore *marées des quadratures*.

Toutefois, dans tous les ports de l'océan, il y a une différence de 36 heures, ou d'un jour et demi, entre l'instant de la plus haute mer et celui de la phase lunaire, et c'est la 3me marée après la pleine ou la nouvelle Lune qui est la plus forte.

On ne doit pas oublier que le phénomène des marées est loin d'être régulier et identique partout. Il varie suivant la forme des côtes et les différents ports de mer.

Les grandes marées des équinoxes sont généralement les plus considérables, lorsque le Soleil et la Lune sont rapprochés du plan de l'équateur.

177. **Explication du phénomène des marées.** — Le phénomène des marées s'explique par l'attraction combinée du Soleil et de la Lune sur les eaux de l'océan. L'action de la Lune, parce que celle-ci est beaucoup plus rapprochée de la Terre que le Soleil, est prépondérante. Considérons donc d'abord l'influence de notre satellite, et soit (fig. 56) en T la Terre que nous supposerons immobile et entièrement couverte d'eau.

L'attraction de la Lune, qui varie en raison inverse des carrés des distances, se fera plus sentir en A qu'en

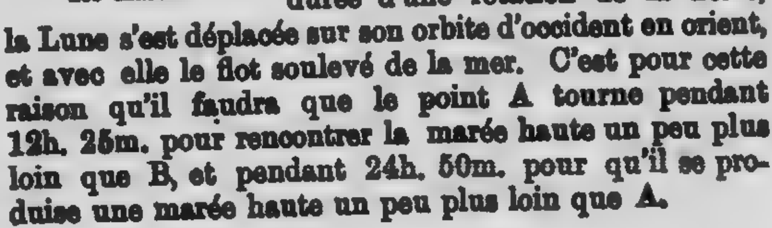
C et en D. L'eau, à raison de sa fluidité, va se soulever en A et produire une protubérance liquide dirigée vers la Lune. Il y aura donc *marée haute* en A et en même temps en B, aux antipodes de A, parce que l'attraction de la Lune, s'exerçant sur le centre T de la Terre, attire plus fortement celle-ci que les molécules liquides plus éloignées en B. Ces molécules deviennent donc en quelque sorte moins pesantes, la Terre se déplace un peu vers la Lune et il se produit une protubérance semblable à la première.

Quant aux masses liquides en C et en D, pour lesquelles la Lune est à l'horizon, elles sont moins attirées que celles placées en A, parce qu'elles sont plus éloignées; elles subissent une action égale seulement à celle qui s'exerce sur le centre T de la Terre; il y aura donc, aux points C et D, *marée basse*.



Fig. 56.—Phénomène des marées.

Comme la Terre tourne sur elle-même dans l'espace de 24 heures, le point A occupe successivement les positions C, B et D pour revenir à A, les protubérances liquides restant fixes sous l'influence attractive de la Lune, de sorte qu'il y aura, pour un même point de la Terre, deux hautes et deux basses mers par jour. Mais pendant la durée d'une rotation de la Terre,


la Lune s'est déplacée sur son orbite d'occident en orient, et avec elle le flot soulevé de la mer. C'est pour cette raison qu'il faudra que le point A tourne pendant 12h. 25m. pour rencontrer la marée haute un peu plus loin que B, et pendant 24h. 50m. pour qu'il se produise une marée haute un peu plus loin que A.

178. **Action du Soleil, marées solaires.**—Les grandes marées des syzygies trouvent leur explication dans l'action du Soleil sur les eaux de la mer. Le Soleil, comme la Lune, attire les eaux, bien que son action soit inférieure à celle de la Lune, à cause de son énorme distance de la Terre.

Comme on le voit dans la figure 56, les attractions du Soleil et de la Lune s'ajoutent aux époques de la nouvelle et de la pleine Lune, tandis qu'elles se contrarient lors du premier et du dernier quartier; dans ce cas, on a les *mortes mers*, parce que la mer ne subit que la résultante des attractions.

179. **Effets produits par la configuration des côtes et des rivages.**—Nous avons déjà dit que, pour les ports de l'océan, l'instant de la plus haute marée est en retard de 36 heures sur celui de la pleine ou de la nouvelle Lune. Ce retard s'explique par l'inertie de la masse d'eau soulevée, inertie qui retarde le mouvement des molécules liquides attirées et entraînées par la Lune. Toute l'étendue de la mer ne reçoit pas instantanément l'action attractive, mais la communication du mouvement se fait de proche en proche et successivement.

En outre de ce retard, le flot de la mer, en arrivant sur les côtes des continents, ne suit pas partout la même marche. Le peu de profondeur de certains rivages, et les contours accidentés des baies, golfes et détroits, le rejet de l'eau sur le rivage, produisent un frottement, un obstacle qui retarde le mouvement de la vague.

Le flot de la marée entre aussi dans les fleuves et se propage plus ou moins loin suivant la forme des côtes et la profondeur de l'eau.

Dans le fleuve Saint-Laurent, la vague de la marée se fait sentir jusqu'aux Trois-Rivières, c'est-à-dire à plus de 200 lieues de l'embouchure, et elle prend 2 jours et demi pour se rendre à Québec; il y a donc simultanément dans le fleuve, entre Québec et l'océan, 5 hautes

et 4 basses mers ou vice-versa. La plus grande marée des syzygies n'a lieu à Québec que 3 jours après la phase lunaire.

La hauteur atteinte par l'eau de l'océan n'est pas partout la même sur les différentes plages et dans l'estuaire des fleuves. Dans la baie de Fundy, au Bassin des Mines, l'amplitude de la marée, aux équinoxes, est supérieure à 60 pieds.

La rapidité du flot envahissant de la mer est quelquefois très grande à cause de la nature des rivages sur lesquels il se propage; sur certains bas-fonds, la marée montante dépasse en vitesse un cheval à la course.

180. **Etablissement du port.**—La forme des côtes et la profondeur de l'eau, en modifiant la marche des marées, font aussi varier, pour les différents ports de mer, l'heure de la haute mer. On appelle *établissement du port* l'heure de la haute mer le jour de la nouvelle Lune. L'établissement du port, à Québec, est de 6 h. 45 m. D'un jour à l'autre, la mer retarde de 50 m. 28 s., 32, de sorte que l'on pourra toujours trouver l'heure moyenne de la haute mer pour un jour quelconque.

LIVRE V

Les planètes, les comètes et les étoiles

CHAPITRE I

I.—LE SYSTÈME SOLAIRE

181. **Caractères distinctifs des planètes.**—Nous avons déjà appelé *astres errants* ou *planètes* des corps célestes qui se déplacent parmi les étoiles ; à première vue, on peut les confondre avec les étoiles fixes, parce qu'elles paraissent occuper une place déterminée dans le ciel et qu'elles participent, comme les autres astres, au mouvement diurne apparent de la sphère céleste autour de la Terre.

Si on les observe pendant plusieurs nuits consécutives, on s'aperçoit que leurs positions dans le ciel varient constamment, et que leurs mouvements sont en apparence très irréguliers.

On distingue aussi les planètes des étoiles par le caractère de leur lumière qui est relativement calme et tranquille, tandis que les étoiles scintillent, c'est-à-dire que leur lumière est animée d'une vacillation remarquable. Les étoiles brillent par elles-mêmes ; ce sont des corps lumineux comme le Soleil. Les planètes, au contraire, sont des astres non lumineux par eux-mêmes et la lumière qu'elles rayonnent n'est que de la lumière solaire réfléchie.

Les étoiles, à cause de leurs énormes distances de la Terre, ne subissent aucun grossissement dans les téles-

copes les plus puissants. Il n'en est pas ainsi des principales planètes ; on les voit, dans les bonnes lunettes, sous forme de disques à dimensions très appréciables, et on peut aussi apercevoir leurs principaux satellites.

182. **Système planétaire, système solaire.**—On nomme *système planétaire* l'ensemble des planètes avec leurs satellites, dont le Soleil est le foyer commun. Si l'on ajoute au cortège des planètes les autres astres, comme les comètes, les étoiles filantes, etc., qui gravitent autour du Soleil, on donne au système formé par la réunion de tous ces astres le nom de *système solaire*.

Les planètes connues sont les suivantes, dans l'ordre de leurs distances du Soleil :

Mercure, *Vénus*, *la Terre*, *Mars*, *Jupiter*, *Saturne*, *Uranus* et *Neptune*.

Les deux premières, Mercure et Vénus, plus rapprochées du Soleil que la Terre, s'appellent *planètes inférieures ;* les autres, plus éloignées du Soleil que la Terre, se nomment *planètes supérieures*.

A part ces huit planètes principales, le système planétaire comprend une agglomération de plus de 800 petites planètes, appelées *planètes télescopiques*, parce qu'on ne les voit qu'avec les télescopes, qui décrivent, sauf quelques-unes, leurs orbites entre Mars et Jupiter. A l'exception de Mercure et de Vénus, les grosses planètes possèdent des astres appelés *satellites* qui tournent autour d'elles en nombre plus ou moins grand, comme elles-mêmes tournent autour du Soleil. La Lune est le satellite de la Terre.

183. **Différents systèmes du monde.**—Le véritable ordre de succession des planètes et leur dépendance par rapport au Soleil n'ont pas toujours été connus par les astronomes des différents siècles. On appelle *systèmes du monde* les hypothèses émises par certains savants, par lesquelles on assignait aux planètes et au Soleil leurs positions et leurs influences relatives.

1° ***Système de Ptolémée.***—D'après ce système, admis par Ptolémée et tous les anciens, la Terre est immobile au centre du monde ; autour de la Terre tournent, dans des orbites circulaires et dans l'ordre suivant, les corps célestes connus des anciens : la Lune, Mercure, Vénus, le Soleil, Mars, Jupiter et Saturne, au delà desquels on plaçait la sphère céleste tournant avec les étoiles autour d'un axe passant par la Terre (fig. 57).

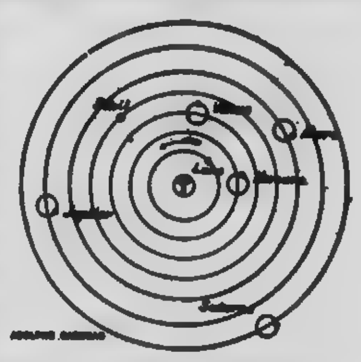


Fig. 57.—Système de Ptolémée.

. Pour expliquer les mouvements compliqués des planètes et de la Lune, Ptolémée avait imaginé toute une série d'*épicycles* et d'*excentriques*, au moyen desquels

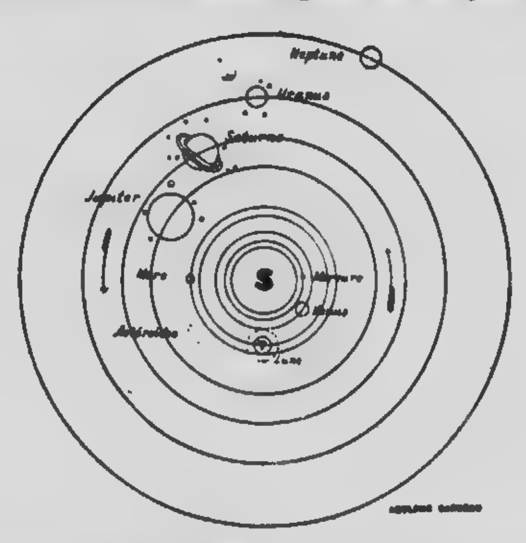


Fig. 58.—Système de Copernic.

les planètes tournaient autour d'un centre qui circulait lui-même autour de la Terre. On admettait même

plusieurs de ces cercles superposés pour arriver à rendre compte de toutes les apparences.

2° *Système de Copernic.*—Le système de *Copernic* (1473–1543), démontré et universellement admis par la science astronomique moderne, a pour base l'immobilité relative du Soleil et le double mouvement de rotation et de translation des planètes. Ainsi, autour du Soleil, foyer commun des planètes, tournent dans des orbites circulaires et dans l'ordre suivant de leurs distances croissantes du Soleil : Mercure, Vénus, la Terre avec la Lune, Mars, Jupiter, Saturne. Uranus et Neptune furent découverts longtemps après la mort de Copernic (fig. 58).

Le mouvement diurne de la sphère céleste n'est plus qu'une illusion due au mouvement de rotation de la Terre.

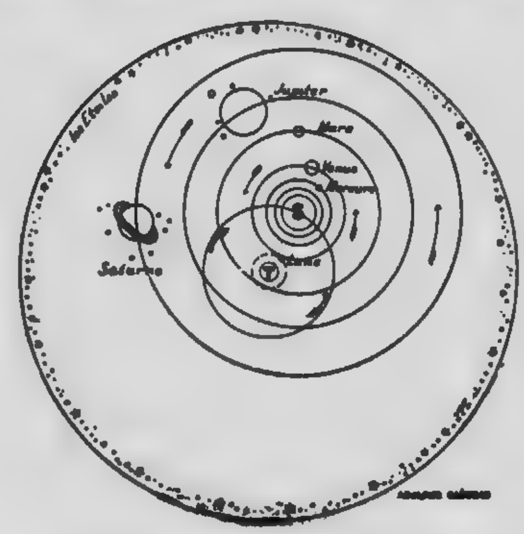


Fig. 59.—Système de Tycho-Brahé.

3° *Système de Tycho-Brahé* (1546–1601).—Trompé par une expérience mal exécutée qui lui fit rejeter le mouvement de rotation de la Terre, *Tycho-Brahé*, célèbre astronome suédois, tenta de concilier les deux

systèmes précédents en admettant que la Terre est immobile au centre de l'Univers et que, par conséquent, le mouvement diurne est dû à la rotation de la sphère céleste. Puis, la Lune et le Soleil seuls tournent directement autour de la Terre ; les planètes circulent autour du Soleil et celui-ci, dans une orbite circulaire, les entraîne avec lui autour de la Terre (fig. 59). Ces idées de Tycho-Brahé n'eurent pas de succès ; le système de Copernic, appuyé sur de solides arguments, est le seul qui prévalut dans la science.

184. **Lois de Képler (1571-1630).** — Jusqu'à Képler, on croyait que les planètes se déplaçaient d'un mouvement uniforme sur des orbites circulaires. Képler, après 22 ans de recherches, eut la gloire de découvrir, en 1618, les véritables lois des mouvements planétaires connues sous le nom de *lois de Képler.* En voici l'énoncé :

1° *Les planètes décrivent des ellipses dont le Soleil est l'un des foyers.*

2° *Les aires décrites par le rayon vecteur mené d'une planète au Soleil sont proportionnelles aux temps employés à les décrire ou sont égales entre elles.*

3° *Les carrés des temps des révolutions des planètes sont entre eux comme les cubes des grands axes de leurs orbites.*

185. **Gravitation universelle.**—Képler avait déterminé les lois des mouvements planétaires ; il était réservé à Newton d'en découvrir la cause.

Comment les planètes peuvent-elles décrire des courbes elliptiques autour du Soleil ?

L'on sait, en effet, que tout corps, en vertu de l'inertie de la matière, tend à se mouvoir en ligne droite et d'un mouvement uniforme ; il faut donc, pour qu'un corps décrive une courbe, qu'une force le dévie constamment de la ligne droite. Puisque les planètes tournent autour du Soleil, il faut donc admettre, d'une

part, qu'elles ont reçu une impulsion initiale imprimée par le Créateur, parce qu'elles n'ont pas pu se mettre en mouvement d'elles-même, et, d'autre part, qu'une force constante les éloigne de la trajectoire rectiligne et les empêche de s'échapper à chaque instant par la tangente à la courbe.

Newton, en partant des lois de Képler, a démontré que cette force est dirigée vers le centre du Soleil, et qu'elle varie en raison inverse des carrés des distances au même astre. C'est cette force que Newton a appelée l'*attraction*, et elle s'applique également au mouvement des satellites autour des planètes.

Par l'étude du mouvement de la Lune autour de la Terre, Newton a réussi à démontrer l'identité de la gravitation et de la pesanteur, de sorte que cette dernière n'est qu'un cas particulier de la loi générale qui régit les mouvements célestes.

Puisqu'il n'y a pas d'action sans réaction égale et contraire, l'attraction entre les astres doit être réciproque et l'on peut dire que les planètes attirent le Soleil et que les satellites attirent les planètes.

Enfin, il résulte de la 3ᵉ loi de Képler que l'attraction entre deux astres ne dépend que de leur quantité de matière ou des *masses* en présence.

On est parvenu aussi à rendre sensible, comme Cavendish l'a réalisé avec deux masses de plomb, et comme Maskelyne l'a constaté par la déviation d'un fil à plomb au voisinage d'une montagne, l'attraction mutuelle de deux corps à la surface du globe.

En partant de ces considérations, on peut énoncer, comme l'a fait Newton, le principe général de la *gravitation universelle* de la manière suivante :

Les corps s'attirent en raison directe de leurs masses et en raison inverse des carrés des distances.

Il est important de faire remarquer que la nature intime de cette force qu'on appelle l'attraction nous est complètement inconnue. Newton n'a voulu parler que

de l'*existence* de cette force qui préside aux révolutions des planètes, sans en définir la cause, et nous ne pouvons que dire, comme lui : *les choses se passent comme si les corps s'attiraient.*

186. **Conséquences du principe de la gravitation.**—On déduit du principe de la gravitation plusieurs conséquences importantes dont voici les principales :

1° Le calcul permet de prévoir et l'observation confirme que les planètes et les satellites, en partant de l'état fluide ou gazeux, comme le supposent les géologues, ont pris, sous l'influence de l'attraction, la forme sphérique.

2° Les points vers lesquels s'exerce l'attraction réciproque des astres sont les centres de figure de ces astres, en d'autres termes, tout se passe comme si la masse de ces corps célestes était condensée en une seule molécule située à leur centre géométrique.

3° Une autre conséquence directe de l'attraction mutuelle de deux astres, c'est qu'ils doivent tourner autour de leur centre commun de gravité. Le Soleil, sous l'influence des réactions qu'il subit de la part des planètes, n'est donc pas complètement fixe, bien qu'on puisse le considérer sensiblement comme tel, parce que sa masse est incomparablement plus considérable que celles des planètes réunies. Le centre de gravité de tout le système solaire est très rapproché du centre de figure du Soleil.

4° On démontre qu'une planète, placée en présence du Soleil qui l'attire et animée d'une impulsion initiale, doit décrire autour de l'astre radieux une courbe qui sera toujours une section conique, c'est-à-dire un cercle, une ellipse, une parabole ou une hyperbole. Les planètes se meuvent dans des orbites elliptiques ; certaines comètes tracent, comme on le croit, des paraboles ou des hyperboles.

5° Enfin, ajoutons que l'attraction des planètes les

unes sur les autres a pour effet de modifier quelque peu la forme de leurs orbites : ce sont les *perturbations planétaires* que les astronomes savent calculer avec une grande précision. C'est en étudiant les perturbations de la planète Uranus que Le Verrier, comme nous le dirons plus loin, découvrit la planète Neptune.

187. **Origine du monde solaire, hypothèse de Laplace.**—Voici comment on peut se faire une idée, d'après l'illustre savant français Laplace, de la formation du monde solaire :

Imaginons une nébuleuse primitive, c'est-à-dire un amas de matières gazeuses en ignition, dont la température serait très élevée et qui serait animée d'un mouvement de rotation sur elle-même.

Cette masse gazeuse, d'une part, devait se refroidir par le rayonnement de la chaleur dans l'espace, tandis que, d'autre part, elle tendait à se condenser de plus en plus vers son centre, à cause de l'attraction dirigée vers ce point, ce qui avait aussi pour conséquence d'augmenter la vitesse de rotation de toute la masse.

L'antagonisme entre la force d'attraction et la force centrifuge qui résulte du mouvement de rotation devait se terminer par la prépondérance de cette dernière. Des anneaux nébuleux se sont alors détachés de l'amas central, et celui-ci, en achevant de se condenser définitivement, constitua le Soleil. Les anneaux, de leur côté, sous l'influence de la rotation, se divisèrent en masses distinctes, lesquelles, une fois condensées, donnèrent naissance aux planètes.

La formation des satellites s'est effectuée d'une manière analogue par la rupture des anneaux issus des planètes. Saturne, en outre de ses dix satellites, possède encore un triple anneau qui l'entoure de toutes parts.

D'après l'hypothèse de Laplace, le Soleil et les planètes seraient donc formés par la condensation d'une

même nébuleuse ; cette opinion semble confirmée par le fait que, grâce à l'analyse spectrale, on constate dans le Soleil la présence des corps légers qui constituent l'écorce de la Terre.

188. **Mesure de la masse du Soleil, de la Terre et des autres planètes.**—D'après le principe de la gravitation universelle, les attractions sont en raison directe des masses. Il en résulte que le rapport des attractions exercées par le Soleil et la Terre sera aussi le rapport des masses des deux astres. On peut calculer facilement la longueur dont la Terre tombe à chaque instant sur le Soleil, ainsi que la vitesse qu'imprimerait la Terre à un corps transporté à la distance du Soleil, ce qui donne la valeur des attractions exercées par les deux astres dans les mêmes conditions. Le calcul fait voir que l'attraction du Soleil est 333,432 fois plus grande que celle de la Terre. Ce chiffre exprime donc la masse du Soleil, celle de la Terre étant 1. La densité du Soleil (le rapport de sa masse à son volume) est 0,256, celle de la Terre étant 1, ou 1,41 pour l'eau = 1.

La masse de la Terre et par suite sa densité par rapport à l'eau ont été mesurées en comparant l'attraction terrestre à celle d'une sphère de plomb sur une autre sphère plus petite de même métal, dans la balance de Cavendish. La densité de la Terre est évaluée à 5,5, ce qui permet d'en déduire son poids.

Quant aux masses des autres planètes, on peut les calculer par les attractions qu'elles exercent sur leurs satellites, comparées à celles qu'elles subissent de la part du Soleil. Nous donnerons plus loin, dans un tableau spécial, les masses des différentes planètes.

II.—RÉVOLUTIONS ET MOUVEMENTS APPARENTS DES PLANÈTES.

189. **Conjonction. Opposition. Quadratures.**—Une planète est en *conjonction* avec le Soleil lorsqu'elle

a même longitude que ce dernier ; si les longitudes des deux astres diffèrent de 180°, la planète est dite en *opposition*. En d'autres termes, le Soleil et la planète, à l'époque de la *conjonction*, paraissent se projeter, vus de la Terre, vers le même point du ciel, tandis que, à l'*opposition*, la planète et le Soleil se projettent en deux points diamétralement opposés.

Dans la figure 61, la planète Jupiter J est en conjonction avec le Soleil S, la Terre étant en T' ; elle est en opposition en J, quand la Terre est au point T de son orbite.

L'on voit par la figure 60, qu'une planète inférieure, comme Vénus, sera en conjonction dans deux positions différentes, en V et en V''' ; dans le premier cas, elle est en *conjonction inférieure* et, dans le deuxième, en *conjonction supérieure*. L'on voit de plus qu'elle ne pourra jamais être en opposition, puisque la planète et le Soleil seront toujours du même côté par rapport à la Terre.

A 90° de l'opposition et de la conjonction, une planète sera en *quadrature*, ce qui ne peut arriver que pour les planètes supérieures.

190. **Elongation.**—C'est la distance angulaire d'une planète au Soleil. On voit par là qu'à l'opposition, l'élongation d'une planète est égale à 180°, tandis qu'elle est 0° à la conjonction.

190 *bis*. **Digression.**—C'est la plus grande distance angulaire possible d'une planète inférieure au Soleil. La digression de Mercure est de 28° et celle de Vénus de 48° environ.

191. **Révolution synodique et révolution sidérale des planètes.**—On appelle *révolution synodique* d'une planète l'intervalle de temps qui s'écoule entre deux passages consécutifs de l'astre à la même conjonction ou à la même opposition.

La *révolution sidérale* d'une planète est la durée de sa révolution autour du Soleil.

192. **Inclinaisons des orbites planétaires.**— Les orbites des planètes principales sont peu inclinées sur le plan de l'écliptique. L'inclinaison maximum est celle de l'orbite de Mercure qui est de 7°. Les orbites des principales planètes sont toutes comprises dans la zone du zodiaque.

193. **Mouvements apparents des planètes.**— Les planètes, nous l'avons déjà vu, décrivent autour du Soleil des courbes aussi régulières que celle de la Terre. Leurs mouvements propres apparents nous paraissent, néanmoins, très irréguliers. A part le mouvement diurne commun à tous les astres, les planètes paraissent tantôt se mouvoir dans le sens direct, tantôt dans le sens rétrograde ; quelquefois aussi on les voit s'arrêter, de telle sorte qu'elles semblent prendre des temps plus ou moins longs à tourner autour de la Terre, après une série de déplacements dans le sens direct, de *rétrogradations* et de *stations*.

Ces mouvements apparents irréguliers s'expliquent par deux causes : c'est que, en premier lieu, la Terre, d'où on les voit, n'est pas au centre de leur mouvement, et que, d'autre part, notre globe n'est pas fixe, mais se meut, lui aussi, autour du Soleil.

Fig. 60.—Mouvement apparent d'une planète inférieure.

Voyons comment on peut rendre compte des mouvements irréguliers des planètes inférieures et supérieures. (fig. 60).

1° Soit la planète inférieure Vénus au point V de son orbite, en conjonction avec le Soleil S. Elle est en ligne droite avec la Terre, le Soleil et une certaine

étoile E de la voûte céleste. Après quelque temps, à cause de la différence des vitesses de la planète et de la Terre, ces deux astres ont les positions V' et T', et Vénus se projette sur le ciel en E', de sorte qu'elle a paru se mouvoir de E en E', en sens contraire de son mouvement réel, c'est-à-dire dans le sens *rétrograde*.

Plus tard, par suite des positions relatives T'' et V'' des deux mêmes astres, Vénus paraîtra vis-à-vis de l'étoile E'', et aura semblé se mouvoir de E' en E'', dans le sens *direct*.

Le changement de direction dans le mouvement de la planète se fait après une diminution de vitesse et après un arrêt ou une *station*. Celle-ci a lieu lorsque les positions relatives de la planète et de la Terre ne changent pas sensiblement pendant un certain temps.

2° Pour expliquer les mouvements apparents d'une planète supérieure, choisissons la planète Jupiter, que nous supposerons immobile au point J de son orbite (fig. 61), à cause de la grande lenteur de son mouvement par rapport à celui de la Terre. A la seule inspection de la figure, il est facile de constater que la planète, pendant la révolution de la Terre autour du Soleil, paraîtra se mouvoir tantôt de j en j', de j' en j'', ou inversement, c'est-à-dire tantôt dans le sens direct, tantôt dans le sens rétrograde, avec des moments d'arrêt ou des *stations* séparant les changements de direction.

Fig. 61.—Mouvement apparent d'une planète supérieure.

Si, maintenant, on se rappelle que Jupiter n'est pas immobile, on comprend la prépondérance du mouvement direct sur le mouvement rétrograde, et l'astre paraîtra, malgré tout, tourner autour de la Terre, dans un temps plus ou moins long.

CHAPITRE II

QUELQUES DÉTAILS SUR LES PLANÈTES

194. **Mercure.**—C'est la première planète inférieure, la plus rapprochée du Soleil. Rarement visible, parce qu'elle est presque toujours noyée dans la lumière du Soleil. Digression = 28°. Ses phases s'expliquent comme celles de la Lune.

La Terre étant prise comme unité, le volume de Mercure est 0,05 ; il est donc 15 fois plus petit que la Terre. Sa distance moyenne au Soleil (0,39, Terre = 1) est environ le tiers de celle de la Terre au même astre ; il reçoit de ce dernier 7 fois plus de chaleur que la Terre.

La révolution sidérale de Mercure est évaluée à 87j., 969. La durée de sa rotation est incertaine. D'après Schiaparelli, elle serait égale à la durée de la révolution. D'après d'autres astronomes, elle serait voisine de 24 heures.

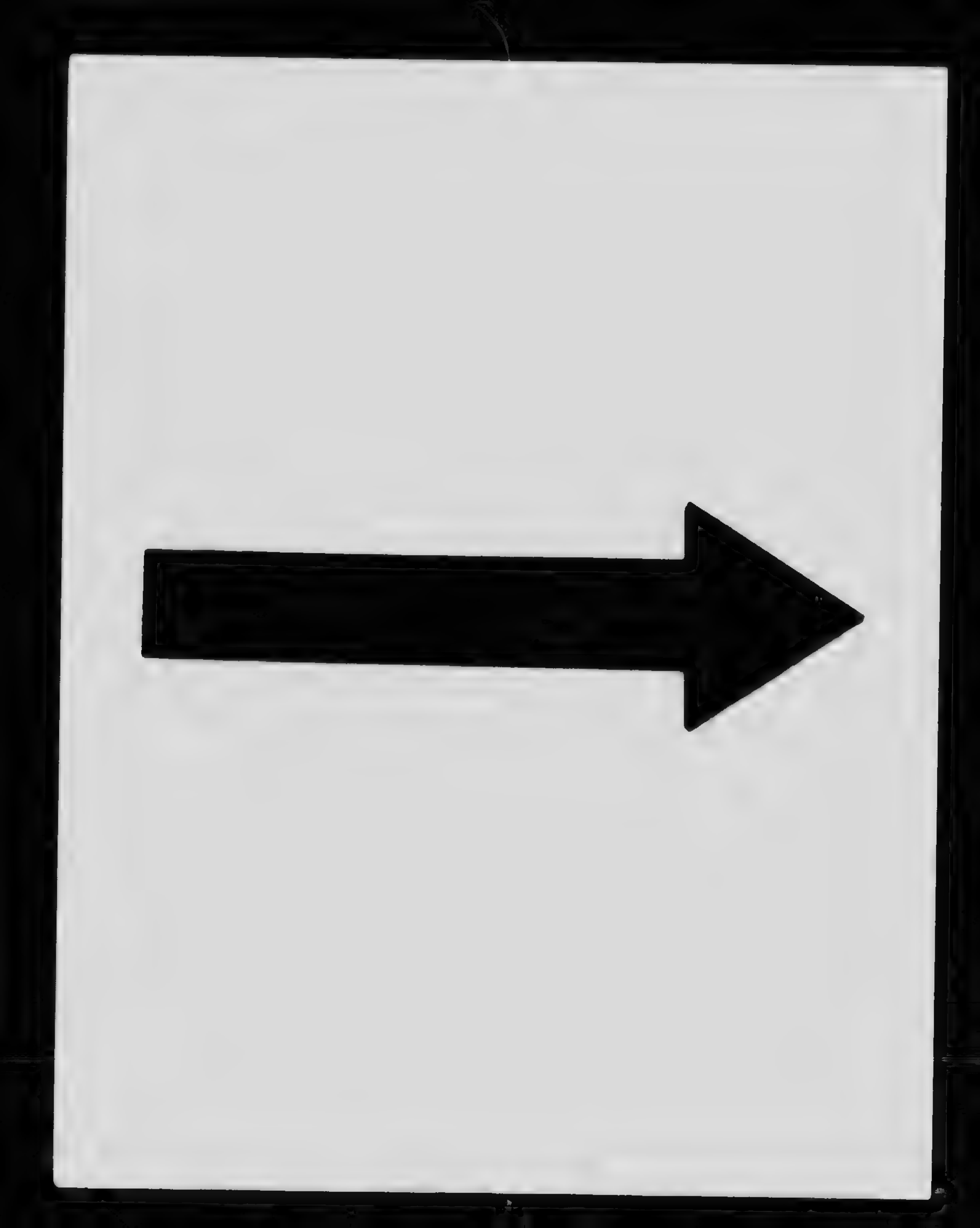
On croit que Mercure est entouré d'une atmosphère épaisse et qu'il est couvert de hautes montagnes.

195. **Vénus.**—Deuxième planète inférieure. Plus brillante que les plus belles étoiles et que les autres planètes, ce qui permet de la voir quelquefois en plein jour.

On la voit à l'est, avant le lever du Soleil : c'est alors l'*étoile du matin*, ou bien à l'ouest, le soir, après le coucher du Soleil : c'est l'*étoile du soir*, l'*étoile du berger*.—Digression = 48°.

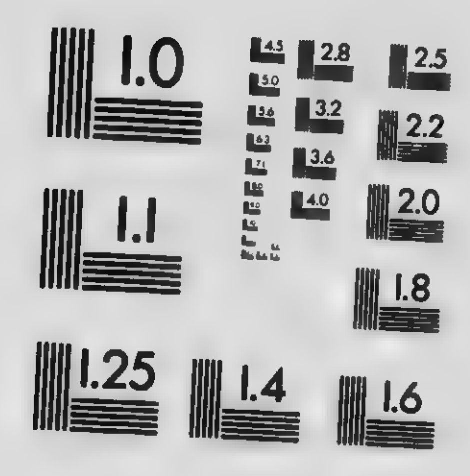
Vénus est, à peu de choses près, aussi grosse que la Terre ; son volume, par rapport à celle-ci, est 0,90.

La durée de sa rotation, très incertaine, serait, d'après Schiaparelli et Lowell, égale à celle de sa révolution sidérale, qui est de 224,7 jours. D'autres, comme pour Mercure, croient que la durée de la rotation est voisine de 24 heures.



MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART

(ANSI and ISO TEST CHART No. 2)





Sa distance moyenne au Soleil est 0,72 de celle de la Terre au même astre.

Elle possède une atmosphère analogue à la nôtre et ses montagnes sont très élevées.

Les saisons sur Vénus doivent présenter des variations beaucoup plus grandes que sur la Terre, à cause du fait que l'angle du plan de son équateur avec celui de son orbite est de 75° environ.

La quantité de chaleur et de lumière solaires est deux fois plus considérable sur Vénus que sur la Terre.

196. **Mars.**—Première planète supérieure. On la distingue facilement parmi les étoiles à cause de sa couleur rougeâtre.

Mars est environ 7 fois plus petit que la Terre : son volume, comparé à celui de notre globe, est 0,157.

Il tourne sur lui-même en 24h. 37m. 23s., et sa révolution se fait dans 1 an, 10 mois et 21 jours.

Sa distance au Soleil est 1,5.

Il y a sur Mars des saisons qui ressemblent beaucoup à celles de la Terre, l'inclinaison de son équateur sur le plan de son orbite étant 29°.

Des taches blanches que l'on voit aux pôles de Mars et dont l'étendue varie avec les saisons, semblent s'expliquer par des amas de neige et de glaces.

Mars a deux satellites, *Phobos* et *Deimos*, tous deux très petits, découverts en 1877 par Hall, et dont les révolutions se font respectivement dans les temps suivants : 7h. 39m. 13s., et 1j. 6h. 17m. 54s.

197. **Jupiter.**—C'est la plus volumineuse des planètes ; son volume, par rapport à la Terre, est 1295.

Malgré sa distance au Soleil, qui vaut 5,2 fois celle de la Terre au même astre, Jupiter brille au firmament comme une étoile de première grandeur et son éclat est comparable à celui de Vénus.

La rapidité de sa rotation est très grande ; elle s'effec-

tue en 9h. 50m. L'année sur cette planète vaut presque 12 des nôtres.

L'aplatissement de Jupiter est considérable, $\frac{1}{15}$, ce qui s'explique par la rapidité énorme de sa rotation.

L'inclinaison de son équateur sur le plan de son orbite est très faible ; son axe est presque perpendiculaire sur ce plan, ce qui doit donner aux saisons plus d'uniformité que sur la Terre. A surface égale, la chaleur et la lumière reçues sont 25 fois moins considérables que sur la Terre.

Jupiter a 8 satellites. Voici leurs noms avec les durées de leurs révolutions autour de la planète : *Io*, 1j. 18h. 27m. 33s. ; *Europe*, 3j. 3h. 13m. 42s. ; *Ganymède*, 7j. 3h. 42m. 33s. ; *Callisto*, 16j. 6h. 32m. 11s. ; V^{e}, 0j. 11h. 57m. 22s. ; VIe, 251j. ; VIIe, 265j. ; VIIIe, 789j. Les trois derniers ont été découverts par la photographie. Le plus gros, Ganymède, dépasse des deux tiers le volume de la planète Mercure.

Les éclipses des satellites dans l'ombre de la planète servent à mesurer les longitudes terrestres, parce que l'heure de leur immersion est indiquée dans les éphémérides astronomiques. Ces mêmes éclipses ont permis à Roemer de mesurer la vitesse de la lumière.

198. **Saturne.**—Saturne, 745 fois plus gros que la Terre et 9,5 fois plus éloigné qu'elle du Soleil, brille comme une belle étoile à lumière pâle. La durée de sa rotation est de 10h. 14m., et celle de sa révolution autour du Soleil est d'environ 30 ans.

L'aplatissement de Saturne est $\frac{1}{10}$, beaucoup plus considérable, par suite, que celui de la Terre.

L'inclinaison de son équateur sur le plan de son orbite est de 26°. Les saisons ressemblent donc aux nôtres, avec cette différence, toutefois, que, à cause de leur longueur (plus de 7 de nos années), les changements de température sont peu rapides. Si l'on représente par 1

la quantité de chaleur et de lumière que la Terre reçoit, celle reçue par Saturne est 0,011.

Saturne se distingue des autres planètes par un *double anneau* qui l'entoure de toutes parts, et dont la largeur totale est de 12,000 lieues françaises. Cet anneau, large et très mince, est opaque et tourne autour de la planète à peu près dans le plan équatorial; la lumière dont il brille est de la lumière solaire réfléchie, et l'on voit l'ombre de la planète se projeter sur l'anneau et l'ombre de l'anneau sur la planète. Les aspects variés suivant lesquels l'anneau nous apparaît dépendent des positions relatives de la planète, du Soleil et de la Terre; il a tantôt la forme elliptique, tantôt il se réduit à une ligne droite, tantôt il disparaît complètement. Les deux anneaux principaux sont à 700 lieues de distance l'un de l'autre. On en distingue aussi un troisième qui paraît se confondre avec le plus rapproché de la planète.

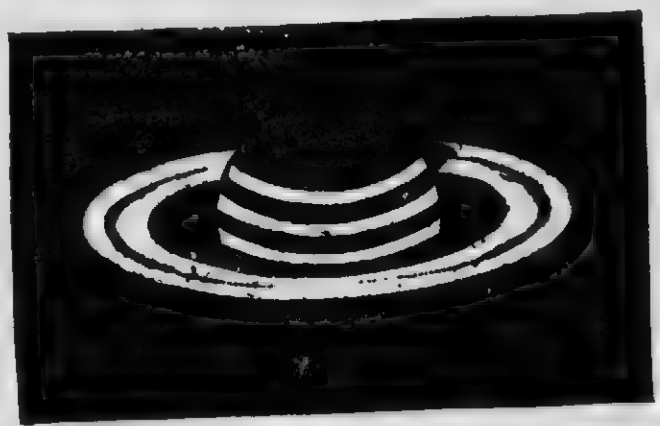


Fig. 69.—Saturne.

Saturne a 10 satellites dont voici les noms avec les durées des révolutions : *Mimas*, 22h. 37m. 50s.; *Encelade*, 1j. 8h. 53m. 6s.; *Téthys*, 1j. 21h. 18m. 26s.; *Dioné*, 2j. 17h. 41m. 9s.; *Rhéa*, 4j. 12h. 25m. 12s.; *Titan*, 15j. 22h. 41m. 27s.; *Hypérion*, 21j. 6h. 38m.

23s. ; *Japet*, 79j. 7h. 56m. 22s. ; *Phébé*, 550j. 10h. 34m. ; *Thémis*, 20j. 20h. 24m. Les deux derniers ont été découverts photographiquement, l'un en 1898 et l'autre en 1904, par W.-H. Pickering.

199. **Uranus.**—Difficilement visible sans lunette, Uranus a été découvert par Herschell en 1781. Il est 63 fois plus gros que la Terre, et son année vaut 84 des nôtres. Sa distance au Soleil est 19 fois celle de la Terre.

La durée de sa rotation, évaluée à 11 heures par Bergstrand, et la valeur de son aplatissement, $\frac{1}{15}$, donnée par le même, sont très incertaines.

Uranus a 4 satellites dont le mouvement autour de la planète est rétrograde. Ce sont, avec les durées de leurs révolutions : *Ariel*, 2j. 12h. 29m. 20s. ; *Umbriel*, 4j. 3h. 27m. 37s. ; *Titania*, 8j. 16h. 56m. 29s. ; *Obéron*, 13j. 11h. 7m. 6s.

200. **Neptune.**—Neptune est la dernière des planètes connues. Il a été découvert, au moyen du calcul, par l'astronome français Le Verrier, en 1846. Celui-ci, en partant des lois de l'attraction, chercha à expliquer, par l'action d'une nouvelle planète dont il calcula les éléments et la position, les mouvements irréguliers d'Uranus. Un astronome de Berlin, Galle, examina le point du ciel indiqué par Le Verrier et découvrit la planète prédite par le calcul ; on l'appela *Neptune*.

Neptune, à cause de sa grande distance du Soleil, qui surpasse de 30 fois celle de la Terre, est invisible à l'œil nu ; il est 78 fois plus gros que la Terre et prend 164 ans à décrire son orbite autour du Soleil. La quantité de chaleur et de lumière qu'il reçoit du Soleil est 1,000 fois moindre, à surface égale, que celle que reçoit la Terre.

Neptune a un satellite, découvert la même année que la planète par Lassell et dont la révolution sidérale s'effectue, dans le sens rétrograde, en 5j. 21h. 2m. 38s.

Il est à remarquer que seuls les satellites d'Uranus et de Neptune, dans tout le système solaire, se meuvent dans le sens rétrograde.

201. **Planètes télescopiques.**—On appelle *astéroïdes* ou *planètes télescopiques*, parce qu'on ne les voit que dans les télescopes, un ensemble de petites planètes dont le nombre dépasse 800 et dont la plupart sont situées entre Mars et Jupiter, à l'exception de cinq dont l'une, *Eros*, gravite entre Mars et la Terre, et 4 autres, *Achille*, *Patrocle*, *Hector* et *Nestor*, dont les distances moyennes au Soleil sont très voisines de celle de Jupiter.

Cérès, parmi les petites planètes, fut découverte la première par Piazzi, à Palerme, le 1er janvier 1801, puis, quelques années après, on aperçut *Pallas*, *Junon* et *Vesta*.

A cause de leur petitesse, les planètes télescopiques sont peu connues ; elles sont toutes plus petites que la Lune.

Les durées de leurs révolutions sidérales varient entre 1 an 9 mois et 12 ans.

Chose assez curieuse, les inclinaisons des orbites de quelques-unes sont plus considérables que celles des grosses planètes.

L'orbite de Pallas, par exemple, est inclinée de 34° sur le plan de l'écliptique et s'écarte ainsi de la zone du zodiaque où toutes les planètes principales sont confinées. Comme les autres astres du système solaire, leurs orbites sont elliptiques.

PRINCIPAUX ÉLÉMENTS APPROCHÉS DU SYSTÈME SOLAIRE.

Noms des astres	Distance moyenne du Soleil	Aplatissement	Volume Terre=1	Masse Terre=1	Densité Terre=1	Pesanteur à l'équateur Terre=1	Durée de la rotation	Durée de la révolution sidérale	Satellites
							j. h. m. s.		
Mercure.........	0,38	0	0,05	0,056	1,1	0,41	?	88 jours	0
Vénus...........	0,73	0	0,90	0,817	0,91	0,88	?	224 "	0
La Terre........	1,00	$\frac{1}{293}$	1	1	1	1	23 56 4	365 ¼ "	1
Mars......	1,52	$\frac{1}{200}$?	0,157	0,108	0,69	0,37	24 37 23	1 an 10 mois	2
Jupiter..........	5,2	$\frac{1}{16}$	1,295	318,36	0,25	2,58	9 50	12 ans	8
Saturne.........	9,5	$\frac{1}{10}$	745	95,22	0,13	1,06	10 14	30 "	10
Uranus..........	19,18	?	68	14,58	0,23	0,92	?	84 "	4
Neptune	30,05	?	78	17,26	0,23	0,95	?	164 "	1
Soleil......		0	1,301,200	333,432	0,256	27,9	j. 25		
Lune............		0	0,02	$\frac{1}{81}$	0,604	0,165	27 7 43 11	j. h. m. s. 27 7 43 11	

CHAPITRE III

LES COMÈTES ET LES ÉTOILES FILANTES

202. **Nature des comètes.**—Les *comètes* sont des astres chevelus et vaporeux qui gravitent autour du Soleil et font, par suite, partie du système solaire.

Une comète comprend trois parties : le *noyau*, partie centrale et brillante, la *chevelure*, nébulosité qui entoure le noyau, et la *queue*, sorte d'appendice lumineux, droit ou courbe, qui prolonge la chevelure. On appelle *tête* de la comète le noyau avec sa chevelure.

Toutes les comètes ne présentent pas le même aspect ni la même forme ; il y en a qui n'ont ni noyau ni chevelure et qui ressemblent à de petits nuages vaporeux ; d'autres n'ont pas de queue, et quelques-unes, au contraire, en ont plusieurs.

La matière qui compose les comètes est très peu dense, moins dense que le plus léger brouillard, puisqu'elles passent devant les étoiles sans affaiblir leur lumière.

D'après l'examen spectroscopique des têtes de comètes, on a reconnu que leur lumière est, en partie, de la lumière solaire réfléchie; on a pu aussi y signaler des signes d'incandescence, en particulier la présence d'hydrocarbures et du cyanogène.

Quant à leur nombre, on en a observé plus de 800 depuis l'antiquité ; elles sont sans doute beaucoup plus nombreuses que cette limite, et l'on croit qu'il y en a des millions.

203. **Caractères distinctifs des comètes.**—Quelques comètes, en particulier celles qui n'ont ni chevelure, ni queue, peuvent être confondues facilement avec les planètes. Les principaux traits distinctifs qui permettent de les caractériser sont les suivants :

En premier lieu, il importe de signaler la *forme des orbites cométaires.* Ce sont des orbites *elliptiques*,

comme celles des planètes, mais *beaucoup plus allongées*, à excentricité beaucoup plus considérable. La figure 63 montre l'orbite de la comète 1862, III. L'on voit que l'astre, à son périhélie, passe très près du Soleil, puis s'en éloigne bien au delà des limites de l'orbite de Neptune. D'autres comètes se meuvent suivant des courbes *paraboliques* ou *hyperboliques*, c'est-à-dire des courbes non fermées; l'astre est visible lorsqu'il passe près du Soleil, puis s'en éloigne ensuite indéfiniment pour ne jamais revenir.

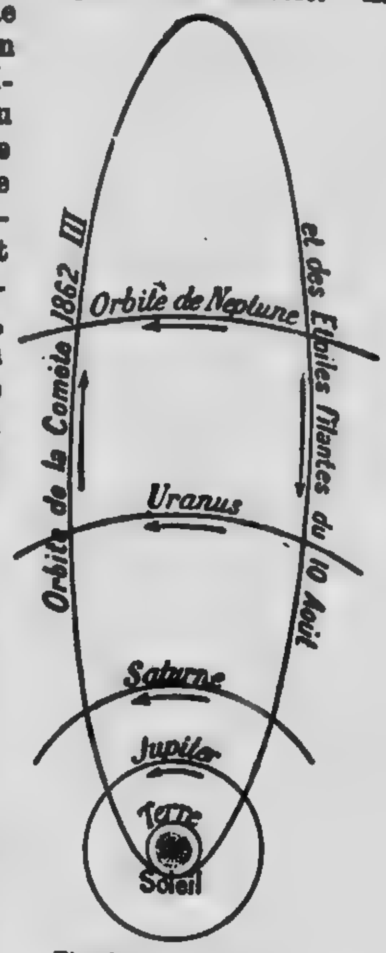


Fig. 63.—Orbite d'une comète.

En second lieu, les orbites cométaires, contrairement à celles des planètes, sont très diversement inclinées sur le plan de l'écliptique. Les limites des inclinaisons sont comprises entre 0° et 90°.

Enfin, le sens du mouvement n'est pas toujours direct, comme c'est le cas général pour les planètes; plusieurs comètes ont un mouvement *rétrograde*.

204. **Comètes périodiques.**—On appelle ainsi les comètes dont le retour peut être prédit. On comprend, en effet, que ce retour est calculable, si la comète décrit une courbe fermée et si l'on connait sa vitesse

de déplacement, pourvu que l'attraction planétaire ne la devie pas de sa course.

On connaît actuellement une vingtaine de comètes périodiques dont le retour a été observé. Citons, parmi les principales :

1° La comète d'*Encke* dont la période est 3,29 ans. A sa plus grande distance du Soleil, elle ne se rend pas jusqu'à l'orbite de Jupiter. Son dernier retour a eu lieu en août 1911.

2° Comète de *Tempel ;* période : 5,17 ans ; retour : avril 1910.

3° Comète de *Biéla* ou de *Gambart ;* période : 6,69 ans. En 1846, elle s'est divisée en deux. On ne l'a pas revue depuis 1866.

4° Comète de *Faye ;* période : 7,43 ans. Son dernier retour a eu lieu en novembre 1910.

5° Comète de *Halley ;* sa période, la plus longue parmi celles des comètes périodiques connues, est de 76,02 ans. Son dernier retour, qui a excité l'intérêt du monde savant tout entier, a été observé en avril 1910.

205. **Etoiles filantes.**—On appelle *étoiles filantes* des points lumineux qui se meuvent rapidement dans le ciel et laissent après eux une longue traînée brillante, comparable à une fusée, et qui ne dure que quelques secondes.

Les apparitions d'étoiles filantes sont très fréquentes, mais elles sont surtout nombreuses dans les nuits du 10 août et du 13 novembre. Le ciel en est parsemé et on leur a donné, pour cette raison, le nom de *pluie d'étoiles.* Les étoiles filantes du 10 août, connues dans la science sous le nom de *courant de Saint-Laurent*, sont encore appelées *Perséides*, parce qu'elles semblent émaner d'un point situé dans la constellation de Persée. On appelle *Léonides* l'essaim du mois de novembre qui semble prendre origine dans la constellation du Lion. Ces pluies d'étoiles subissent des maxima qui revien-

nent après des intervalles de temps déterminés. Ces étoiles filantes sont dites *périodiques;* les autres, qui apparaissent isolément, sont appelées *sporadiques.*

Quant à l'origine des étoiles filantes, on a admis qu'elles seraient de petits corps solides qui décrivent des orbites elliptiques autour du Soleil, comme les planètes. Ces corpuscules, en traversant l'atmosphère terrestre, s'enflamment par le frottement énergique de l'air, deviennent incandescents, et donnent lieu au phénomène des étoiles filantes.

D'après une autre théorie, les étoiles filantes ne seraient que des comètes se mouvant par groupes dans l'espace. Ce qui donne lieu à cette opinion, c'est que certains essaims suivent autour du Soleil la même trajectoire que certaines comètes.

L'essaim des Perséides suit, par exemple, l'orbite de la troisième comète de 1862 (fig. 63), et celui des Léonides se rattache à la comète I de 1866.

206. **Bolides et aérolithes.**—On a donné le nom de *bolides* à des météores lumineux qui se meuvent dans l'espace pendant un temps plus ou moins long et qui, en éclatant quelquefois avec bruit, projettent sur le sol des débris pierreux, des substances minérales, généralement du fer, du nickel, de la magnésie, etc. Ces pierres qui tombent du ciel s'appellent des *aérolithes.*

Ces chutes d'aérolithes sont relativement assez fréquentes et quelques-unes de ces pierres météoriques sont d'un poids considérable.

Quant à l'origine des bolides, elle se rattache probablement à celle des étoiles filantes.

CHAPITRE IV

LES ÉTOILES FIXES.—LES NÉBULEUSES

207. **Parallaxe annuelle des étoiles.**—L'on sait que la parallaxe d'un astre est l'angle sous lequel un observateur, placé au centre de l'astre, verrait le rayon de la Terre. Cet angle est appréciable pour les astres suffisamment rapprochés de la Terre, comme la Lune et le Soleil. Il n'en est pas de même pour les étoiles, à cause de leurs énormes distances.

En prenant pour base le diamètre de l'orbite terrestre, on a pu, en menant des droites vers certaines étoiles aux deux extrémités de ce diamètre, trouver des angles mesurables.

Soit, en effet, la Terre aux deux points T et T' de son orbite, à six mois d'intervalle. Si, en ces deux points, on mène les rayons visuels TE et T'E vers la même étoile E, on obtient un triangle TET' dont la base TT' est le diamètre de l'orbite terrestre. Avec une base de cette grandeur, il a été possible de mesurer, pour un certain nombre d'étoiles, l'angle TET'. La moitié de cet angle, c'est-à-dire l'angle TES, sous lequel on voit de l'étoile le rayon de l'orbite terrestre, a été appelée la *parallaxe annuelle* de l'étoile en question.

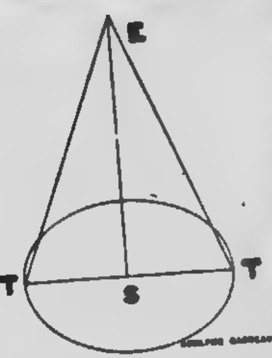


Fig. 64.—Parallaxe annuelle des étoiles.

On a réussi à mesurer les parallaxes annuelles d'un certain nombre d'étoiles. Ces parallaxes sont toutes extrêmement petites ; il n'y en a pas une seule qui soit égale à 1". Pour le plus grand nombre d'étoiles, elle est nulle, les deux lignes TE et T'E, menées à la même étoile des extrémités d'une base qui surpasse 60,000,000 de lieues, sont parallèles !

208. **Distance des étoiles à la Terre.** — On voit, par la figure 64, que, en appliquant les propriétés des triangles, on peut calculer la distance d'une étoile à la Terre, si l'on peut mesurer sa parallaxe annuelle.

On démontre, par un calcul très simple, que la distance d'un point à une longueur qui serait vue de ce point sous un angle de 1", est égale à 206,265 fois cette longueur. Il en résulte donc qu'une étoile, dont la parallaxe est 1", serait à une distance de la Terre égale à 206,265 fois le rayon de l'orbite terrestre.

Or, aucune parallaxe stellaire n'atteint 1" ; la plus considérable parmi les parallaxes mesurées jusqu'à présent n'est égale qu'à 0",75 : c'est la parallaxe de *α du Centaure*. C'est donc l'étoile la plus rapprochée de la Terre et sa distance est beaucoup plus grande que 206,265 fois le rayon de l'orbite terrestre ; elle s'exprime en milliards de lieues.

La grande majorité des étoiles sont beaucoup plus éloignées que α du Centaure : il y en aurait, d'après Herschell, dont la distance surpasserait 2,300 fois cette limite.

On exprime souvent la distance des étoiles à la Terre par le temps que prend la lumière, à raison de 62,000 lieues à la seconde, pour la franchir. C'est ainsi que la lumière prend au delà de 4 ans pour venir de α du Centaure, l'étoile la plus rapprochée ; elle prend près de 9 ans à venir de Sirius, près de 10 ans à venir de Procyon, plus de 32 ans à venir d'Aldébaran, 27 ans de la Chèvre et 46½ ans de la Polaire. La durée du trajet de la lumière doit se mesurer par siècles, pour d'autres étoiles encore plus éloignées, et il est probable que l'on voit encore des astres éteints depuis des milliers d'années.

Voici un tableau donnant les parallaxes et les distances à la Terre d'un certain nombre d'étoiles remarquables :

Noms des étoiles	Parallaxe	Distance moyenne à la Terre, exprimée en millions de rayons de l'orbite terrestre	Distance à la Terre, exprimée en années que prend la lumière pour la franchir
			Ans.
α du Centaure....	0",76	0,28	4,3
Sirius.............	0",37	0,57	8,8
Procyon............	0",30	0,64	9,9
Altaïr..............	0",23	0,92	14,2
Aldébaran..........	0",10	2,10	32,6
Véga	0",13	1,62	25,1
Fomalhaut..........	0",13	1,62	25,1
Polaire.............	0",07	3,00	46,6

(D'après l'*Annuaire du Bureau des Longitudes* pour 1913)

209. **Composition physique et chimique des étoiles.**—Les étoiles, à raison de leur éloignement de la Terre, ne peuvent pas être étudiées dans les lunettes, même les plus puissantes ; ces dernières, en effet, ne produisent aucun grossissement appréciable. C'est par l'analyse de leur lumière, au moyen du spectroscope, que l'on peut dévoiler quelque peu le mystère de leur constitution.

D'après les résultats des nombreuses études spectroscopiques effectuées jusqu'à présent par les astronomes, on peut admettre que les étoiles brillent d'une lumière propre et sont des soleils analogues au nôtre.

Les spectres stellaires ne sont pas tous semblables ; ils dénotent des variations dans la constitution des étoiles

et permettent de les classer par groupes assez caractéristiques.

Il y a, par exemple, des étoiles qui se rapprochent des nébuleuses ; quelques-unes contiennent de l'hélium, étoiles dites d'Orion ; d'autres sont des étoiles *blanches* à hydrogène prédominant, dont les principaux types sont Véga, Sirius et Fomalhaut.

Un groupe intéressant est constitué par les *étoiles solaires*, de couleur jaune, c'est-à-dire celles qui ressemblent le plus au Soleil, et présentent le même spectre avec raies de Fraunhofer et raies métalliques très nombreuses. A part le Soleil, les principales étoiles de ce groupe sont Arcturus, Capella et la Polaire.

D'autres groupes d'étoiles sont formées soit par les étoiles à *spectres cannelés*, dénotant la présence du manganèse et du titane ou de leurs oxydes (principaux types : Antarès, Bételgeuse), soit par les étoiles *carbonées*, de couleur rouge rubis, dont les spectres sont attribués au carbone ou aux hydrocarbures.

210. **Etoiles doubles et multiples.**—Un grand nombre d'étoiles, bien qu'elles nous apparaissent comme des points uniques, sont composées de deux ou de plusieurs étoiles, lorsqu'on les examine à l'aide de puissantes lunettes.

Les étoiles dont le rapprochement n'est qu'apparent, mais qui, en réalité, sont à de grandes distances les unes des autres, sur le prolongement du rayon visuel mené vers elles, forment ce qu'on appelle des *groupes optiques*.

D'autres constituent des *groupes physiques*, et ce sont des systèmes analogues au système solaire ; les deux composantes d'une étoile double tournent, d'après les principes de l'attraction newtonienne, autour de leur centre commun de gravité.

On a mesuré les périodes de révolution d'un grand nombre d'étoiles doubles ; cette période est de 49 ans pour Sirius, 347 ans pour Castor, 40 ans pour Procyon,

81 ans pour α du Centaure, 783 ans pour la 61e du Cygne.

Parmi les étoiles triples, on distingue γ d'Andromède ; θ d'Orion est une étoile septuple.

Une classe intéressante d'étoiles doubles comprend les étoiles doubles dites *spectroscopiques*.

On appelle aussi des étoiles que l'on a dédoublées, non pas au moyen des télescopes, mais par l'examen de leurs spectres, en appliquant le principe bien connu en optique de Doppler-Fizeau. Les clichés photographiques ont fait voir, pour la première étoile double spectroscopique découverte en 1889 par Pickering, que les deux astres qui la composent tournent rapidement autour de leur centre commun de gravité.

Pour Algol de Persée, on a reconnu qu'elle avait un *compagnon* obscur qui l'occulte partiellement pendant sa révolution.

On connaît maintenant plus de 140 étoiles doubles spectroscopiques. Parmi les principales, citons α d'Andromède, α de la Petite Ourse, la Chèvre, l'Epi de la Vierge, α du Centaure.

211. **Etoiles variables.**—On appelle ainsi des étoiles qui subissent des variations d'éclat et qui ne sont pas toujours de la même grandeur. Les étoiles variables peuvent être ou *temporaires*, c'est-à-dire qui apparaissent subitement—on les appelle aussi des *Novæ* ou *Nouvelles*—pour s'affaiblir ensuite peu à peu et disparaître, ou *périodiques*, c'est-à-dire reprenant après une période plus ou moins longue leur éclat ordinaire.

On peut grouper les étoiles variables en plusieurs classes.

La première classe comprend les étoiles *temporaires*. Une des plus remarquables a été appelée la *Pèlerine*, observée en 1572 par Tycho-Brahé. Elle disparut au bout de 16 mois. Ces étoiles quelquefois ne disparaissent pas complètement, mais se fixent définitivement à une grandeur inférieure.

D'autres sont des variables à *longues périodes* de 6 mois à 2 ans, avec parfois des changements considérables d'éclat. La première variable de cette classe a été découverte en 1638 : c'est *Mira Ceti*, l'Admirable de la Baleine.

Une troisième classe comprend les *étoiles à fluctuations*, à variations irrégulières, comme α d'Orion et α de Cassiopée.

On groupe dans une quatrième classe les *étoiles à courtes périodes*, de quelques jours seulement de durée, avec un ou deux maxima et minima par période.

Enfin une cinquième classe est constituée par les *étoiles à éclipses passagères*. Celles-ci s'éteignent plus ou moins complètement pendant un certain temps, mais conservent leur éclat entre deux extinctions très régulières. Leurs périodes varient de 3 heures à 32 jours. La principale étoile de ce groupe est *Algol de Persée*. Cette étoile a une période de 2j. 20h. 49m. ; son éclat est constant, de deuxième grandeur, pendant 2j. 12h. ; il diminue pendant 4h. 30m., en passant à la grandeur 3,5, puis augmente pendant le même temps et reprend sa valeur primitive (1).

Par l'examen spectroscopique, on croit que la plupart, sinon toutes les étoiles du type d'Algol, ont un compagnon moins brillant qui, en passant devant l'étoile, serait la cause des changements périodiques d'éclat.

Quant aux étoiles temporaires, ce sont peut-être des variables à longue période.

Il est curieux aussi de constater que les étoiles temporaires, dans la dernière période de leur évolution, présentent le même spectre que celui de nébuleuses.

212. **Mouvements propres des étoiles. Mouvement propre du Soleil.**—Outre les déplacements apparents que les étoiles subissent par les effets paral-

---

(1) Bigourdan, *Annuaire du Bureau des Longitudes*, pour 1909, notice A.

lactiques et l'aberration, on est parvenu à prouver qu'elles se déplacent aussi d'un mouvement propre très lent, sur la voûte du ciel, dans différentes directions, de sorte que, après des siècles, si les astronomes n'en tenaient pas compte, ces déplacements finiraient par altérer la forme des constellations.

Le Soleil, lui aussi, n'est pas fixe, mais est animé d'un mouvement propre comme les autres étoiles. Par l'éloignement angulaire que paraissaient subir certaines étoiles et le rapprochement de celles qui sont situées en un point du ciel diamétralement opposé, on a conclu que le Soleil, avec tout son cortège de planètes, de comètes et de météores, se déplace vers un point du ciel appelé l'*apex*, lequel, d'après les travaux de Struve, Ross et Newcomb, serait dans la direction de la constellation d'Hercule. Ce mouvement de translation se fait peut-être autour d'un centre qui paraît situé dans le groupe des Pléïades.

213. **Nébuleuses.**—On appelle *nébuleuses* de petits nuages blancs, des taches lumineuses que l'on aperçoit dans le ciel pendant les belles nuits sans Lune, et surtout à l'aide d'un fort télescope.

On distingue deux sortes de nébuleuses : 1° les nébuleuses *résolubles*, c'est-à-dire celles qui se résolvent en un grand nombre d'étoiles en apparence très rapprochées et que la simple vue ne pouvait pas séparer; 2° les nébuleuses *non résolubles*, celles qui conservent l'apparence de nuages vaporeux malgré toute la puissance des lunettes.

Le nombre des nébuleuses est très grand, et il faut les compter par milliers ; il en est de même aussi du nombre d'étoiles qu'elles renferment.

L'analyse spectrale, appliquée à l'étude des nébuleuses, a fait voir qu'elles donnent des radiations propres, assez peu nombreuses, mais relativement très visibles. Elles contiennent de l'hydrogène incandescent

et un nouvel élément hypothétique spécial que l'on a appelé le *nébulium*.

On peut donc admettre que les nébuleuses non résolubles sont constituée par une matière subtile, espèce de brouillard cosmique qui peut, en se condensant, donner naissance à de nouvelles étoiles.

Les nébuleuses les plus remarquables sont : la nébuleuse d'*Andromède*, la grande nébuleuse d'*Orion*, celle du *Chien de chasse septentrional*, et surtout la *Voie lactée*.

214. **Voie lactée.**—Tout le monde a vu, dans les nuits sereines et obscures, cette bande blanchâtre irrégulière qui divise la sphère céleste en deux parties presque égales. Ce nuage d'apparence laiteuse est une nébuleuse, la plus importante pour nous, que l'on appelle la *Voie lactée* ou *Chemin de Saint-Jacques ;* la route qu'elle semble parcourir dans le ciel est jalonnée par les constellations suivantes : le Cygne, l'Aigle, le Scorpion, le Grand Chien, les Gémeaux, le Cocher et Cassiopée, avec une bifurcation qui va du Cygne au Scorpion.

La Voie lactée a été résolue en étoiles séparées dans quelques-unes de ses parties, et, d'après Herschell, elle ne contiendrait pas moins de 18 millions d'étoiles.

Le point où se trouve le Soleil dans l'espace est entouré, en apparence, de toutes parts par la Voie lactée, et, d'après le même savant, l'astre radieux, avec tout son cortège de planètes et de corps célestes divers, ne serait qu'une étoile de cette immense nébuleuse ; les autres nébuleuses ne seraient, elles aussi, que des Voies lactées analogues à la nôtre.

Les apparences du ciel étoilée et de la Voie lactée nous permettent de supposer que cette dernière est une nébuleuse de forme aplatie, comme une sorte de lentille dont le diamètre serait 100 fois plus grand que son épaisseur, et dont le Soleil serait à peu près au centre. Si, dès lors, on regarde dans le sens des rayons de cet

immense disque fourmillant d'étoiles, celles-ci, en nombre incalculable, ne se séparent pas les unes des autres, et présentent l'aspect d'un nuage nébuleux. Dans le sens de l'épaisseur, au contraire, le regard rencontre beaucoup moins d'étoiles, et celles-ci paraissent plus espacées, plus brillantes : ce sont les étoiles visibles qui parsèment la voûte des cieux.

215. **Constitution de l'Univers.**—Voici, d'après tout ce qui précède, l'idée que l'on peut se faire de la constitution de l'Univers créé :

Le monde se composerait de *nébuleuses*, en nombre très grand, contenant des myriades d'étoiles, et situées à des distances immenses les unes des autres ; parmi ces nébuleuses, la Voie lactée est celle qui renferme le Soleil entouré de toutes les planètes, dont la principale, pour nous, est la Terre. Les dimensions du système solaire sont insensibles par rapport à la distance des étoiles entre elles et aux dimensions de la nébuleuse qui les contient, et l'on peut dire aussi avec probabilité que les distances qui séparent les nébuleuses les unes des autres sont incomparablement plus grandes que toutes les autres grandeurs dont nous venons de parler.

Ajoutons que les mouvements propres des étoiles doivent s'exécuter autour d'un centre dont chaque nébuleuse serait pourvue, et qu'il est permis d'admettre, peut-être, un centre unique de la Création autour duquel s'effectueraient les révolutions de toutes les nébuleuses.

Les dimensions de l'Univers, le nombre prodigieux des étoiles et des corps célestes qui le composent, la multiplicité des mondes qui peuplent l'espace nous donnent une idée saisissante de l'infinie grandeur de Dieu qui les a créés. Aussi nous ne saurions mieux terminer ce *Cours élémentaire de Cosmographie*, bien imparfait et bien incomplet d'ailleurs, que par ces paroles du Psalmiste : *Cœli enarrant gloriam Dei.*

FIN.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION

LIVRE PREMIER

LA SPHÈRE CÉLESTE

CHAPITRE I

LE MOUVEMENT DIURNE

CHAPITRE II

COORDONNÉES CÉLESTES

CHAPITRE III

REPRÉSENTATION ET DESCRIPTION DU CIEL

LIVRE II

LA TERRE

CHAPITRE I

ISOLEMENT ET SPHÉRICITÉ DE LA TERRE

CHAPITRE II

COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES

CHAPITRE III

FORME EXACTE ET DIMENSIONS DE LA TERRE

CHAPITRE IV

MOUVEMENT DE ROTATION DE LA TERRE

CHAPITRE V

CARTES GÉOGRAPHIQUES

LIVRE III

[redacted]

CHAPITRE I

MOUVEMENT APPARENT DU SOLEIL

CHAPITRE II

[redacted]

CHAPITRE III

LE CALENDRIER

CHAPITRE IV

TRANSLATION DE LA TERRE AUTOUR DU SOLEIL

CHAPITRE V

PRÉCESSION DES ÉQUINOXES

CHAPITRE VI

INÉGALITÉ DES JOURS ET DES NUITS

CHAPITRE VII

LES SAISONS

CHAPITRE VIII

I. — PARALLAXE DU SOLEIL, SES DIMENSIONS ET SA DISTANCE À LA TERRE

II.—CONSTITUTION PHYSIQUE DU SOLEIL

LIVRE IV

LA LUNE

CHAPITRE I

MOUVEMENT DE LA LUNE AUTOUR DE LA TERRE.—PHASES DE LA LUNE

CHAPITRE II

I.—PARALLAXE ET DIMENSIONS DE LA LUNE. DISTANCE A LA TERRE

II. — ROTATION DE LA LUNE SUR ELLE-MÊME. — CONSTITUTION PHYSIQUE DE LA LUNE

CHAPITRE III

ÉCLIPSES DE SOLEIL ET DE LUNE

CHAPITRE IV

LES MARÉES

LIVRE V

LES PLANÈTES, LES COMÈTES ET LES ÉTOILES

CHAPITRE I

I.—LE SYSTÈME SOLAIRE

II.—RÉVOLUTIONS ET MOUVEMENTS APPARENTS DES PLANÈTES

CHAPITRE II

QUELQUES DÉTAILS SUR LES PLANÈTES

CHAPITRE III

LES COMÈTES ET LES ÉTOILES FILANTES

CHAPITRE IV

LES ÉTOILES FIXES.—LES NÉBULEUSES
